

Anat. 345. y^b
11

S A M M L U N G
PHYSIOLOGISCHER
ABHANDLUNGEN

HERAUSGEGEBEN VON
W. P R E Y E R.

ERSTE REIHE.
SIEBENTES HEFT.

ÜBER
DIE ABHÄNGIGKEIT
DER
FARBENEMPFINDUNGEN
VON DER
LICHTSTÄRKE.

VON
D^{R.} A. CHODIN
AUS ST. PETERSBURG.

JENA,
VERLAG VON HERMANN DUFFT.
1877.

ÜBER
DIE ABHÄNGIGKEIT
DER
FARBENEMPFINDUNGEN

VON DER
LICHTSTÄRKE.

VON
DR. A. CHODIN

AUS ST. PETERSBURG.

JENA

VERLAG VON HERMANN DUFFT.

1877.

ÜBER

DIE ABHÄNGIGKEIT

DER

FARBENEMPFINDEGEN

VON DER

LICHTSTÄRKE.

VON

Dr. A. CHODIN

AUS D. T. LEHRSTUHL

JENA

VERLAG VON HERMANN DUBBT.

1877.

Inhalt.

	Seite
Vorbemerkung über Farbenbenennungen	1
I. Über den Einfluss abnehmender Lichtintensität auf die Farbenempfindung	3
A. Versuche mit Pigmentfarben	6
1. Verdunklung durch Rauchgläser	6
2. Verdunklung des Beobachtungsraums	12
3. Verdunklung durch Vergrößerung des Seh-Abstandes	14
Resultate	16
B. Versuche mit Spectralfarben	23
Resultate	28
II. Über den Einfluss zunehmender Lichtintensität auf die Farbenempfindung	33
Resultate	36
III. Über Lage und Ausdehnung der Spectralfarben bei mittlerer Lichtintensität	38
IV. Über den Einfluss der Lichtstärke auf die binoculare Mischung der Farben	44

Inhalt.

Seite	
I	Vorbereitung über Farbbezeichnungen
2	I. Über den Einfluss abnehmender Lichtintensität auf die Farbbezeichnung
6	A. Versuche mit Primärfarben
6	1. Verbindung durch Raueflächen
12	2. Verbindung des Beobachtungsräume
14	3. Verbindung durch Vergrößerung des Seh-Abstandes
16	Resultate
28	B. Versuche mit Spectralfarben
28	Resultate
33	II. Über den Einfluss zunehmender Lichtintensität auf die Farbbezeichnung
36	Resultate
38	III. Über Lage und Ausdehnung der Spectralfarben bei mittlerer Lichtintensität
44	IV. Über den Einfluss der Lichtstärke auf die binoculare Mischung der Farben

Vorbemerkung über Farbenbenennungen.

Ehe ich von dem Einflusse der Lichtintensität auf die Farbeneempfindungen anfangen zu sprechen, muss ich einige Bemerkungen über die Benennung der Farben vorausschicken, da auf diesem Gebiete noch immer grosse Unsicherheit und Ungenauigkeit herrscht. Meine Begriffe der einfachen Farben: Roth, Gelb, Grün, Blau beziehen sich nur auf ganz reine Farben (Pigmente wie Spectralfarben), d. h. solche, welche keine Spur von anderem Tone enthalten. Die einzelne Bezeichnung Roth, Grün u. s. w. bedeutet, dass die Farbe gesättigt und von mittlerer Helligkeit ist, die Bezeichnungen „hell“ und „dunkel“, z. B. in „hellblau“, „dunkelgrün“, bedeuten, dass diese Farben lichtstarke, bez. lichtschwache sind (im Sinne von Helmholtz). Die ungesättigten Farben, welche dem Weiss näher stehen, als dem Schwarz, haben den Zusatz „weiss-“ oder „weisslich-“, die dem Schwarz näher, als dem Weiss stehenden ungesättigten Farben den Zusatz „schwarz-“ oder „schwärzlich“. Was die zusammengesetzten Farben betrifft, so besteht der gemeinsame Name derselben aus den Bezeichnungen beider Bestandtheile der Farbe, wie „Grüngelb“, „Blaugrün“, und der Name der überwiegenden Farbe steht zuletzt, z. B. „Blaugrün und „Grünblau“: im ersten Falle überwiegt Grün, im zweiten Blau, aber die beiden Töne treten sehr deutlich hervor. Wenn der eine Ton sehr wenig hervortritt, so drückt dieses die Silbe „-lich“ aus, z. B. „Grünlichgelb“ bedeutet, dass Grün nur mit einer Spur eines grünlichen Tones eintritt. Die Bezeichnungen gelblich, grünlich u. s. w. ohne Zusatz zeigen eine Mischung einer geringen Quantität des Farben-Tones mit Grau (hell oder dunkel) an, „grünlichgelblich, gelblichröthlich“ u. s. w. für sich die Mischung dieser beiden Töne mit Grau, übrigens mit Überwiegen des einen oder anderen Tones, wie bei Grüngelb bez. Gelbgrün.

Über den Begriff der „braunen“ Farbe herrscht die grösste Unsicherheit. Ich nenne „Braun“ lichtschwaches Röthlichgelb (ich glaube im Sinne von Helmholtz), welches nicht, wie Brücke's Braun, Lavendel, sondern lichtschwaches Grünlichblau zur Complementärfarbe hat.

Das „Rothbraun“ ist „Braun“ mit Überwiegen des rothen Tones, das „Gelbbraun“ Braun mit Überwiegen des gelben Tones. Also entspricht dieser Begriff des Braun nicht dem von Listing¹⁾ und Aubert²⁾, da meiner Meinung nach kein reines Braun im Sonnenspectrum existirt, wie es Listing, nicht aber Brücke³⁾, auf den er sich beruft, annimmt (auf Linie A); und reines Roth wird m. E. nicht rein Braun, wie es Aubert bei schwacher Beleuchtung gefunden hat; in beiden Fällen erscheint nicht Braun, sondern Rothbraun. Im Spectrum erscheint Braun nur bei sehr schwacher Intensität des Lichtes, nämlich an der Stelle des Gelb (d. h. als sehr dunkles Goldgelb), auf Linie D aber mehr Orangebraun, d. h. Braun mit überwiegender deutlicher Orange - Nüance oder kürzer lichtschwaches Orange.

In Bezug auf den Ausdruck „Intensität“ ist streng zu unterscheiden die Stärke oder Lichtstärke oder Lichtintensität des Reizes einerseits, d. h. die Helligkeit, von der Stärke oder Intensität der Empfindung andererseits. Erstere ist objectiv, letztere subjectiv. In dieser Abhandlung ist immer nur von der objectiven Lichtintensität die Rede.

1) & 2) Näheres weiter unten.

3) Poggendorff's Annalen. Bd. 74. S. 461 und 582.

I. Über den Einfluss abnehmender Lichtintensität auf die Farbenempfindung.

Obgleich der Einfluss der Abschwächung des Lichtes auf die Empfindung der Farben schon aus dem täglichen Leben bekannt ist, wurde er auf wissenschaftlichem Wege noch sehr wenig untersucht. Es giebt zwar verschiedene Beobachtungen über diesen Gegenstand, aber dieselben sind theils nicht vollständig, theils ganz widersprechend. Der erste, welcher solche Beobachtungen anstellte, war Purkinje¹⁾. Er sagt, dass man bei der Betrachtung farbiger Papiere in der Morgendämmerung zuerst nur Grau und Schwarz sieht; Roth und Grün erscheinen am dunkelsten; Gelb kann man nicht von Rosaroth unterscheiden, Blau ist bei zunehmender Tageshelle zuerst bemerkbar; die rothen Nüancen (Carmin, Zinnober, Orange) erscheinen lange dunkel. Dove²⁾ beobachtete in der Gemäldegallerie, dass bei der Abenddämmerung auf den Bildern die rothen Farben am frühesten verschwinden, die blauen aber noch lange sichtbar bleiben. Dasselbe Resultat erhielt er bei Abschwächung der Tagesbeleuchtung (bei diesen 2 Farben) durch Anwendung rother und blauer Gläser. Dadurch will Dove die Erscheinung erklären, dass bei schwachem Sternlichte die blaue Farbe des Himmels noch sichtbar ist. Grailich³⁾ machte unabhängig von Dove dieselbe Beobachtung in der Gemäldegallerie; bei Abschwächung der Beleuchtung verschwinden die rothen Farben, die blauen aber bleiben sichtbar. In der Physiolog. Optik von Helmholtz finden sich an mehreren Stellen Angaben über die Abhängigkeit der Farbenempfindung von der Lichtstärke: S. 234 sagt er, dass bei geringer Helligkeit das Blau des Spectrum mehr Indigoblau, Violett mehr Rosa wird; S. 281:

1) Beobachtungen und Versuche u. s. w. 1825. S. 109—110 Bd. 11.

2) Poggend. Annal. Bd. 85. S. 397.

3) Sitzungsber. d. Wiener Akad. 1854. S. 249—275.

Rothbraun ist lichtschwaches Roth, Braun lichtschwaches Gelb, und Olivengrün lichtschwaches Grün; und weiter auf S. 317 bestätigt er für Spectralfarben die Beobachtungen von Purkinje und Dove, dass bei Abschwächung des Lichtes die blauen und violetten Farben überwiegen, bei Verstärkung desselben aber die rothen und gelben. (Dabei verfuhr Helmholtz in der Weise, dass er zuerst die einzelnen Spectralfarben isolirte, ihre Helligkeitsunterschiede möglichst ausglich und dann die Zunahme und Abnahme der Lichtstärke eintreten liess).

Diese Ansicht ist die herrschende. Aber Aubert⁴⁾ erhielt bei seinen Untersuchungen mit Pigmentfarben ganz entgegengesetzte Resultate betreffs der relativen Erkennbarkeit der Farben bei Abschwächung der Beleuchtung. Da er sich viel gründlicher mit diesem Gegenstande beschäftigte, als seine Vorgänger, so will ich von seiner Methode und seinen Resultaten ausführlicher sprechen. Durch eine Quadratöffnung im Fensterladen liess er das Tageslicht in ein dunkles Zimmer fallen (die Öffnung konnte man willkürlich erweitern und verengern); in der Entfernung von 1 Meter vom Fenster befanden sich (auf schwarzem oder weissem Grunde) zwei farbige Quadrate von 1 Centimeter Seite mit derselben Entfernung von einander; das Auge befand sich neben der Ladenöffnung, also auch in der Entfernung von 1 Meter. Durch Erweiterung oder Verengerung der Öffnung konnte Aubert die Veränderungen der farbigen Pigmente bei Veränderungen der Beleuchtung bestimmen. Seine Resultate sind folgende:

a) Bei sehr verminderter Intensität der Beleuchtung erscheinen alle Pigmente farblos, aber unterscheiden sich noch durch grössere oder geringere Helligkeit von ihrer Umgebung. Nach dieser Helligkeit ordnet Aubert seine Pigmente in folgende Reihe auf schwarzem Grunde: 1) Roth (am dunkelsten), 2) Orange und Dunkelgrün, 3) Blau und Grau, 4) Grün und Hellblau, 5) Rosa und Gelb, und 6) Weiss (am hellsten). Dagegen auf weissem Grunde: 1) Schwarz, Braun, Roth, Orange und Dunkelgrün erschienen Schwarz; 2) Blau weniger Schwarz; 3) Grün und Hellblau heller, 4) Rosa noch heller, 5) Gelb am hellsten.

b) Die Farben der unteren (rothen) Seite des Spectrum werden bei geringerer Beleuchtungsintensität erkannt, als die der oberen Seite. Die Pigmente, welche bei der schwächsten Beleuchtung erkannt wurden, waren Orange, Roth, Gelb und Rosa;

4) Physiol. der Netzhaut. 1865. S. 125—129.

bei stärkerer Beleuchtung Grün und Hellblau; bei noch stärkerer erst Blau.

c) Die Pigmente verändern bei abnehmender Beleuchtungsintensität ihren Farbenton und ihre Farbennüance. Roth erscheint als dunkles Braun, Orange sehr dunkel und rein roth; Gelb schmutziggrau mit einem röthlich-gelben Stiche; Grün und Hellblau sehen ganz gleich aus.

d) Die Umgebung des Pigmentes, ist von Einfluss auf die Wahrnehmbarkeit der Farbe: im Allgemeinen werden helle Pigmente auf weissem Grunde bei geringerer Lichtmenge erkannt, dunkle dagegen leichter auf schwarzem Grunde.

e) Die Farbe der Pigmente bei schwächster Beleuchtung wird nur im ersten Momente des Anschauens empfunden.

Diese Resultate sind darum wichtig, weil Aubert der einzige ist, welcher genau den Einfluss der Lichtabschwächung auf die Empfindung der Farben ermittelt hat⁵⁾. Als ich schon mit meinen Versuchen zu Ende war, erfuhr ich aus dem neuen Buche von Aubert „Grundzüge der Physiologischen Optik. 1876“ von den Beobachtungen von Dr. Landolt (S. 535): an der Wand des verfinsterten Zimmers befanden sich viele farbige Quadrate (2 Mm. Seite) auf schwarzem Sammt, welche nach langer Adaptation der Netzhaut betrachtet wurden. Dabei ergab sich, dass Gelb am frühesten erkannt wurde, dann Grün, nachher Roth, am spätesten Blau und Violett (von Orange erwähnt Landolt nichts). Ausserdem betrachtete er auch Quadrate derselben Grösse auf weissem Grunde bei hellem Tageslichte in grösserer Entfernung und fand, dass sie alle von ferne dunkel, einige schwarz erschienen, bei der Annäherung wurden Orange und Grün heller (aber die Farbe wurde noch nicht erkannt); am frühesten wurde als Farbe Orange erkannt, dann Grün, dann Roth und zuletzt Blau und Violett (von Gelb wird nichts erwähnt!). Überhaupt sind in dieser Hinsicht die Versuche von Landolt, wie sie Aubert anführt, nicht genügend: die Grösse der Quadrate ist sehr klein (2 Mm.), was auf die Veränderung der Farben einfließen muss, obgleich Landolt nichts davon erwähnt; vielleicht sind die Farben auf schwarzem und weissem Grunde nicht dieselben; die Anordnung der Quadrate ist unbekannt u. a. m. Dabei fand Landolt, dass

5) In den „Grundzügen der Physiol. Optik“ S. 533 sagt Aubert nur, dass Roth bei geringerer Beleuchtung erkannt wurde, als Blau, obgleich das letztere auf schwarzem Grunde viel heller als das erstere erscheint, von den übrigen Farben aber erwähnt er nichts.

kleine blaue Objecte bei verminderter Beleuchtung deutlicher erscheinen beim peripherischen Sehen, rothe und grüne umgekehrt beim directen Sehen.

Es ergibt sich also, dass die Beobachtungen von Aubert (und die später hinzugekommenen von Landolt) das Umgekehrte der früheren zeigen, nämlich dass Blau und Violett bei der Verminderung der Lichtintensität am schlechtesten erkannt werden, am besten Orange, Roth und Gelb.

In Folge dieses vollständigen Widerspruches zwischen den verschiedenen Beobachtern hinsichtlich der relativen Erkennbarkeit der Farben bei sehr verminderter Lichtmenge und wegen der überhaupt ungenügenden Untersuchung dieser Frage unternahm ich, auf den Vorschlag des Herrn Prof. Preyer, eine Reihe von Versuchen, um den Einfluss der Veränderung der Lichtintensität auf die Empfindung der Farben zu bestimmen.

Ich stellte die Versuche sowohl mit Pigmenten wie mit Spectralfarben an.

A. Versuche mit Pigmentfarben ⁶⁾.

Die Abschwächung der Intensität wurde in dreifacher Weise hergestellt: durch Rauchgläser, durch Verdunklung des Zimmers und durch Vergrösserung des Seh-Abstandes.

1) Verdunklung durch Rauchgläser. Die farbigen Quadrate von 2 Cm. Seite wurden auf glanzlosem schwarzem, und hellgrauem Papier so befestigt, dass die Distanz zwischen ihnen 2 Cm. betrug. Solche Tafeln mit Quadraten von verschiedenen Farbennüancen, deren Zahl bis 30 erreichte, wurden so an das Fenster gestellt, dass sie vom zerstreuten Tageslichte gleichmässig beleuchtet waren. In einer Entfernung von 190 Cm. von der Tafel befand sich das Auge hinter einem grossen schwarzen Schirme mit kleiner Öffnung in der Mitte (es versteht sich von selbst, dass das Auge nicht dem Fenster gegenüber war). Hinter der Öffnung des Schirmes, zwischen ihm und dem Auge, wurde ein System von 10 Rauchgläsern an einem Stativ befestigt. Be-

6) Unter den Pigmentfarben waren die gesättigsten: Roth, Blau, Orange, Gelb, Grün. Purpur-violett (anstatt Violett) war etwas dunkel, die übrigen Zwischenfarben waren gut; wie gross ihre Zahl war, kann man daraus entnehmen, dass ich zu meiner Verfügung Hrn. Prof. Preyer's Sammlung von 285 verschiedenen farbigen Papieren hatte, welche alle dieselbe Grösse von etwa einem halben Quadratfuss haben und glanzlos sind.

sondere schwarze Schirme dienten zum Abhalten des seitlich einfallenden Lichtes. Alle 10 Rauchgläser waren drehbar um eine und dieselbe excentrische Axe, so dass man zu jeder Zeit 1 bis 10 Gläser ausschalten konnte. Das beobachtende Auge befand sich hinter den Gläsern und betrachtete durch dieselben und das Loch in dem Schirme die Tafel der farbigen Quadrate. Die Beleuchtung während eines jeden Versuches war dieselbe. Die Beobachtungen fanden sowohl Vormittags, als auch Nachmittags statt. Die Differenz in der Beleuchtung bei verschiedenen Versuchen (obwohl unbedeutend, da immer zerstreutes Tageslicht verwendet wurde) konnte keinen Einfluss haben, da sie durch eine grössere oder geringere Zahl der Gläser in's Gleichgewicht gesetzt wurde; denn der Grad der Lichtabschwächung durch die Gläser wurde mittelst der Sehschärfe nach den Snellen'schen Probe-Buchstaben bestimmt. Nach dem Zurechtstellen der Gläser und der Tafel mit den Quadraten (die Quadrate wurden nach allen Richtungen gleichmässig aufgeklebt und die Tafel selbst hatte verschiedene Stellungen, so dass ich die Reihe und die Farbe der Quadrate nicht kennen konnte) betrachtete ich die Quadrate erst durch alle Gläser, dann schaltete ich die Gläser aus, eins nach dem anderen, und notirte die Veränderungen der farbigen Objecte. Diese Ausschaltung wurde bis zu dem Momente fortgesetzt, wo alle Quadrate in ihrer wirklichen Farbe erkannt wurden. Dazu ist zu bemerken, dass diese Beobachtungen mit adaptirter Netzhaut und mit häufigen Unterbrechungen wegen Erholung des Auges gemacht wurden. Denn das angestrengte Sehen bei schwacher Beleuchtung ist sehr ermüdend. Die auf solche Weise nach sehr häufiger Wiederholung in vorzüglicher Übereinstimmung erhaltenen Resultate sind in folgender Tabelle angegeben. Ich hebe nur einen Theil der Versuche heraus, um die Tabelle nicht zu gross zu machen. S. bedeutet Sehschärfe⁷⁾.

7) Anmerkung zu den Tabellen. Parenthese und Fragezeichen bedeuten, dass man diese Farbe nicht mit Bestimmtheit erkennen, sondern nur vermuthen konnte. Da ausserdem sehr viele Versuche angestellt wurden und bei grosser Lichtschwäche nicht ausnahmslos das Object bei einer gewissen Beleuchtung in derselben Farbe erschien, so nahm ich ein Mittel z. B. Weiss lichblau erschien ein Mal grünlich, ein ander Mal bläulich, ein drittes Mal grünlich-bläulich u. s. w., ich setzte dann in die Tafeln nur die Farbe, welche bei allen Versuchen überwiegend war.

Taf. I.

a) Auf schwarzem Grunde.

	10 Gläser $S < \frac{6}{200}$	9 Gläser $S = \frac{6}{200}$	8 Gläser $S = \frac{6}{100}$	7 Gläser $S = \frac{6}{70}$	6 Gläser $S = \frac{6}{50}$	5 Gläser $S = \frac{6}{30}$	4 Gläser $S = \frac{6}{20}$	3 Gläser $S = \frac{6}{15}$
Weiss	hellgrau	hellgrau	hellgrau	weiss	weiss	weiss	weiss	weiss
Grau	grau	grau	grau	grau	grau	grau	grau	grau
Braun	sehr dunkel	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau (bräunlich?)	dunkel-bräunlich	dunkelbraun	braun	braun
Schmutzig- roth	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	sehr dunkel mit röthlichem Schimmer	sehr dunkel- roth	schmutzig- roth
Feuerroth	schwarz	schwarz	dunkel braun- röthlich	dunkelroth	dunkelroth	dunkelroth	roth	feuerroth
Orange	schwarz	sehr dunkel mit orange- röthlicher Nuance.	rothorange	orange	orange	orange	orange	orange
Orangegelb	grau	heller mit röthlich-gelblichem Stiche	röthl.-gelblich	gelbl.-orange	gelborange	gelborange	gelborange	gelborange
Gelb	hellgrau	hell mit röthlich- gelbl. stiche.	hell-röthlich- gelblich	gelblich	gelb	gelb	gelb	gelb
Gelbgrün	hellgrau	hell	(grünlich?)	grün-weisslich	grünweiss	grünweiss	gelbgrün	gelbgrün
Grün	dunkelgrau	dunkelgrau	grau-grünlich	dunkelgrün	grün	grün	grün	grün
Dunkelgrün	sehr dunkel	sehr dunkel- grau	dunkelgrau (grünl.-bläul?)	dunkelgrau (bläulich?)	dunkelgrau- grünlich	graugrünlich	dunkelgrün	dunkelgrün
Weisslich- blau	weisslichgrau	hellgrau	hellgrau	(grünlich?)	weissgrünlich	grünlich-bläul.	weisslichblau	weisslichblau
Blau	grau	grau	grau	grau (bläulich?)	dunkelbläulich	dunkelblau	blau	blau
Purpur- violett	schwarz	schwarz	sehr dunkel	sehr dunkel	dunkelgrau (bläulich?)	dunkelgrau mit violett. Stiche	dunkelviolett	purpurviolett

b) Auf hellgrauem Grunde.

	10 Gläser $S < \frac{6}{200}$	9 Gläser $S = \frac{6}{200}$	8 Gläser $S = \frac{6}{100}$	7 Gläser $S = \frac{6}{40}$	6 Gläser $S = \frac{6}{50}$	5 Gläser $S = \frac{6}{30}$	4 Gläser $S = \frac{6}{20}$	3 Gläser $S = \frac{6}{15}$
Schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz
Grau (dunkler als der Grund)	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau	grau	grau	grau	grau
Braun	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkelgrau	dunkelgrau	dunkel grau-bräunlich	dunkelbraun	braun
Schmutzig-roth	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	sehr dunkel röthl.-bräunl.	sehr dunkel-roth	schmutzig-roth
Feuerroth	schwarz	schwarz	schwarz mit röthl. Schimmer	dunkelroth	dunkelroth	roth	hellroth	feuerroth
Orange	schwarz	fast schwarz mit orange-röthl. Stiche	orangeroth	orange.	orange	orange	orange	orange
Orange gelb	unsichtbar (wie d. Grund)	unsichtbar	kaum sichtbar mit röthl.-gelbl. Stiche	gelblich-röthl.	gelbl.-orange	gelborange	gelborange	gelborange
Gelb	unsichtbar (wie d. Grund)	kaum sichtbar (röthl.-gelbl.?)	hell röthlich-gelblich	gelblich	gelblich	gelb	gelb	gelb
Gelbgrün	unsichtbar (wie d. Grund)	unsichtbar	unsichtbar	kaum sichtbar (grünlich?)	weisslichgrün	weisslichgrün	weiss-grün-gelblich	grüngelb
Grün	dunkelgrau	dunkelgrau	graugrünlich	dunkelgrün	dunkelgrün	grün	grün	grün
Dunkelgrün	fast schwarz	sehr dunkel	dunkel	dunkelgrau	dunkelgrau (grünlich oder bläulich?)	grüngrau	graugrün	dunkelgrün
Weisslich-blau	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	kaum sichtbar grünlich	grünlich oder bläulich?	weissgrün	weisslichblau	weisslichblau
Blau	sehr dunkel	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau	bläulichgrau	graublau	dunkelblau	blau
Purpurviolett	sehr dunkel (schwarz)	fast schwarz	sehr dunkel	dunkel	dunkel (bräunl. oder bläulich?)	dunkelviolett?	dunkelviolett	purpurviolett

Taf. II.
a) Auf schwarzem Grunde.

	$S = \frac{6}{200}$	$S = \frac{6}{200}$	$S = \frac{6}{100}$	$S = \frac{6}{70}$	$S = \frac{6}{50}$	$S = \frac{6}{40}$	$S = \frac{6}{30}$	$S = \frac{6}{20}$	$S = \frac{6}{15}$
Weiss	hellgrau	hellgrau	noch heller	noch heller	weiss	weiss	weiss	weiss	weiss
Braun	sehr dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau (bräunlich?)	dunkelgrau	dunkelgrau (bräunlich?)	dunkelbraun	dunkelbraun	braun
Rothbraun	unsichtbar (schwarz)	schwarz	schwarz	fast schwarz	sehr dunkel	sehr dunkel mit rothbräunl. Stiche	sehr dunkel rothbraun	dunkelrothbraun	rothbraun
Schmutzigroth	unsichtbar (schwarz)	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	sehr dunkel rothbräunlich	sehr dunkel rothbraun	sehr dunkel roth	schmutzigroth
Feuerroth	unsichtbar (schwarz)	schwarz	schwarz mit röthl.-bräunl. Schimmer	sehr dunkelroth	dunkelroth	dunkelroth	roth	roth	feuerroth
Orange	unsichtbar (schwarz)	fast schwarz mit orange-röthl. Stiche	orangeroth (dunkel)	rothorange (deutlich)	dunkelorange	orange	orange	orange	orange
Orange-gelb	grau	etwas gelbl.-röthlich grau	gelbl.-röthl. (heller)	röthl.-gelbl. (noch heller)	orange-gelbl.	orange-gelb	orange-gelb	orange-gelb	orange-gelb
Gelb	hellgrau (dunkler als weiss)	hellgrau	hell mit röthl.-gelbl. Stiche	hellgrau-gelblich	gelblich	gelb	gelb	gelb	gelb
Gelbgrün	hellgrau	hellgrau	hellgrau (grünlich?)	hellgrau (grünlich?)	hellgrau grünlich	weisslich-grünlich	weisslich-grünlich	gelbl.-grün	gelbgrün
Grün	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkel grau-grünlich	graugrün	dunkelgrün	grün	grün	grün	grün
Dunkelgrün	fast schwarz (unsichtbar)	sehr dunkel	sehr dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau (grünlich?)	grau (grünlich?)	grünlichgrau	dunkelgrünlich	dunkelgrün
Weisslichblau	hellgrau	hellgrau	hellgrau	hellgrau (grünlich?)	grünlich? od. bläulich?	grünlich?	grünl.-bläul.	grünlich-bläulich	weisslichblau
Blau	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau	bläulich-grau	graublau	dunkelblau	blau	blau
Purpurviolett	schwarz (unsichtbar)	schwarz	schwarz	fast schwarz	dunkel (bläulich?)	dunkel (bräunlich)	dunkel mit viol. Nuance	dunkelviolett	purpurviolett

b) Auf hellgrauem Grunde.

	$S = \frac{0}{100}$	$S = \frac{10}{100}$	$S = \frac{20}{100}$	$S = \frac{30}{100}$	$S = \frac{40}{100}$	$S = \frac{50}{100}$	$S = \frac{60}{100}$	$S = \frac{70}{100}$	$S = \frac{80}{100}$	$S = \frac{90}{100}$	$S = \frac{100}{100}$
Schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz
Grau	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau	schwarz
Braun	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	schwarz
Rothbraun	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz
Schmutzig-roth	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz
Feuerroth	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz
Orange	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz
Orange-gelb	unsichtbar (wie d. Grund)	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar
Gelb	fast unsichtb. (etwas heller als d. Grund)	hellgrau	hellgrau	hellgrau	hellgrau	hellgrau	hellgrau	hellgrau	hellgrau	hellgrau	hellgrau
Gelbgrün	unsichtbar (wie d. Grund)	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar
Grün	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau
Dunkelgrün	(sehr dunkel fast schwarz)	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel
Weisslich-blau	unsichtbar (wied. Grund)	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar	unsichtbar
Blau	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel	sehr dunkel
Purpur-violett	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz

2) Die zweite Art der Abschwächung der Beleuchtung bestand in der Verdunklung des Beobachtungsraumes. Dabei wurden einerseits in bestimmter Entfernung (6 Fuss) die oben erwähnten Tafeln mit den farbigen Quadraten betrachtet, andererseits auf dem Tische in der Mitte des Zimmers die grösseren farbigen Papiere (18 Cent. lang und 10 Cent. breit) in der Weise sortirt, dass die gleichfarbig erscheinenden in ein Paket zusammengelegt wurden. In beiden Fällen wurde vorher das Zimmer so verfinstert, dass man keine Farbe mehr unterscheiden konnte und dann die Menge des Lichtes allmählich vergrössert; der Grad der Lichtabschwächung wurde, wie früher, mittelst der Sehschärfe gemessen. Die Tabelle II (S. 10 u. 11) enthält die mit farbigen Quadraten zu 2 Cent. Seite gewonnenen Resultate.

Das Sortiren der grösseren farbigen Papiere führte zu folgenden Ergebnissen:

1) Bei einer Verfinsterung des Zimmers, bei welcher man in der Entfernung von 2 Fuss kaum Nr. CC der Snellen'schen Buchstaben sehen konnte (also S weniger als $\frac{2}{200}$) ordnete ich 40 farbige Papiere in folgende 4 Gruppen:

Hellgrau: Weiss, Gelb, Gelbgrün, Weisslichgrün.

Grau: alle übrigen Farben mit Ausnahme der folgenden 2 Gruppen.

Dunkelgrau: Grau, Braun, Dunkelgrün, nichtgesättigtes Orange.

Schwarz: Roth, Rothbraun, Schmutzig-Roth, Purpur-Violett und Schwarz.

2) Bei einer Verfinsterung entsprechend $S = \frac{2}{100}$ wurden folgende 7 Gruppen erhalten:

Weiss: Weiss.

Hellgrau: Gelb, Hellgrün, Weisslichblau, Gelbgrün.

Hellgrau (etwas dunkler): Orange gelb, Grün, Gelborange zum Theil Weisslichblau, Weisslichorange.

Grau: Grau, Blau, Grün (etwas dunkel), Blaugrau, Rosa.

Dunkelgrau: Braun, Dunkelgrün, Dunkelblau.

Fast Schwarz: Dunkelbraun, Rothbraun, Braunroth, Orange, Dunkelgraublau.

Schwarz: Roth, Schmutzigroth, Feuerroth, Dunkelpurpurviolett, Schwarz.

3) Die Verfinsterung mit $S = \frac{2}{100}$ bis $\frac{2}{70}$ gab 8 Gruppen:

Weiss: Weiss.

Weisslich; Gelb, Weisslichgrün.

Hellgrau: Gelbgrün, Weisslichblau, Weisslichviolett, Orange gelb, Gelborange, Graurosa, Weisslichorange.

Grau: Blau, Grün, Grau, nichtgesättigtes Orange.

Dunkelgrau: Dunkelgrün, Dunkelgrau, Dunkelblau.

Dunkelgrau (dunkler): Schmutziggrün, Braun, Blaugrau.

Fast Schwarz: Dunkelbraun, Rothbraun, Orange.

Schwarz: Schwarz, Feuerroth, Schmutzigroth, Purpurviolett.

4) Die Verfinsterung mit $S = \frac{2}{70}$ bis $\frac{2}{50}$ lieferte folgende 10 Gruppen:

Weiss: Weiss.

Fast Weiss: Gelb, Weisslichgrün.

Graugelblich?: Orange gelb, Gelborange, Weisslichorange.

Weisslich: Gelbgrün, Weisslichblau, Hellviolett, Graurosa.

Weisslich-grünlich?: Grün, Blau, Grau, Weisslichviolett.

Grau (grünlich?): Dunkelgrün, Dunkelgrau.

Dunkelgrau: Braun, Dunkelblau, Graugrün.

Sehr Dunkelgrau: Orange, Rothbraun, Dunkelbraun, Schmutzigblau.

Sehr Dunkel-(bräunlich?): Roth, Feuerroth.

Schwarz: Schwarz, Schmutzigroth, Dunkelpurpurviolett.

5) Die Verfinsterung bei der $S = \frac{2}{50}$ bis $\frac{2}{40}$ gab schon 13 Gruppen:

Weiss: Weiss.

Weisslich-gelblich: Gelb.

Gelblich-Orange: Orange gelb, Gelborange, Graulichgelb, Weisslichorange.

Orange-röthlich: Orange.

Grünlich? (gelblich?): Gelbgrün, Graurosa, Weisslichviolett.

Weisslich-grünlich: Weisslichgrün, Gelbgrün, Weisslichblau.

Grau: Dunkelgrün, Grau, Blau.

Dunkelgrau: Blaugrau, Dunkelblau, Graugrün, Dunkelgrau, Braun.

Dunkelgrau (etwas Rosa?): Dunkelgrau, Purpurviolett, Rosagrau.

Dunkel (braunröthlich?): Rothbraun, Braunroth.

Dunkel Rothbraun: Roth, Feuerroth.

Schwarz: Schwarz, Schmutzigroth.

Sehr dunkel (bläulich?): Dunkelpurpurviolett.

6) Die Verfinsterung mit $S = \frac{2}{40}$ bis $\frac{2}{30}$ gleichfalls 13 Gruppen:

Weiss: Weiss.
 Gelblich (etwas röthlich?): Gelb, Orangegeb.
 Grau-röthlich-gelb: Gelborange, nichtgesättigtes Orange.
 Orange: Orange.
 Grünlich-(gelblich): Gelbgrün, Grüngelb.
 Weissgrün: Weisslichgrün, Weisslichblau, Grün, Weisslichviolett.
 Graugrünlich?: Dunkelgrün, Blau, Graublau.
 Grau: Grau, Rosagrau, Dunkelblau.
 Bräunlich?: Braun, Dunkelbraun, Rothbraun.
 Dunkelroth: Feuerroth.
 Dunkel Braunroth: Roth.
 Sehr Dunkelgrau: Dunkelpurpurviolett, Schmutziggrün.
 Schwarz: Schwarz, Schmutzigroth.

7) Die Verfinsterung mit $S = \frac{2}{30}$ bis $\frac{2}{12}$ gab 17 Gruppen für die 40 Proben:

Weiss: Weiss.
 Gelb: Gelb.
 Gelborange: Gelborange, Orangegeb., nichtgesättigtes Orange.
 Orange: Orange.
 Roth: Feuerroth.
 Dunkelroth: Roth.
 Gelblichgrün: Gelbgrün, Grüngelb.
 Grünlichbläulich: Weisslichblau, Weisslichviolett.
 Grünlich: Weisslichgrün, Grün.
 Grünlichgrau: Dunkelgrün, Blau.
 Dunkelblau: Dunkelblau, Graublau.
 Braun: Dunkelbraun, Braun, Rothbraun.
 Graurosa: Graurosa, Weisslichviolett.
 Grau: Grau, Dunkelgrau.
 Dunkelviolet: Dunkelpurpurviolett.
 Fast Schwarz: Schmutzigroth.
 Schwarz: Schwarz.

Bei weiterer Abnahme der Verfinsterung konnte man schon alle Papiere in ihrer wirklichen Farbe unterscheiden, nämlich bei $S = \frac{2}{10}$ bis $\frac{2}{7}$.

3) Bei der Abschwächung des weissen Lichtes durch Vergrösserung des Seh-Abstandes, d. h. der Entfernung des farbigen Feldes vom Auge, wurden kleinere Quadrate verwendet, nämlich solche zu ein Centimeter Seite. Sie waren auf schwarzem und

auf weissem Grunde in einem Abstände von 2 Centimeter von einander befestigt. Die Zahl dieser Quadrate erreichte gleichfalls bis 30; da eine grössere Entfernung, als 15 Meter nicht disponibel war, so wurde geschwächtes Tageslicht benutzt, indem eine Hälfte des Ladens fast geschlossen war. Welche Abschwächung des Lichtes dadurch herbeigeführt wurde, ergibt sich daraus, dass in der Entfernung von nahe 15 Meter die Sehschärfe $\frac{45}{70}$ betrug⁸⁾. Nach der verticalen Aufstellung der Tafel mit den Quadraten näherte ich mich ihr allmählich (von 15 Meter an) und notirte die Veränderungen der farbigen Objecte. Die folgende Tabelle gibt die auf solche Weise erhaltenen Resultate.

Taf. III.

a) Auf schwarzem Grunde.

Distanz in Fuss	45' (S = $\frac{45}{70}$)	40' ($\frac{40}{50}$)	31' ($\frac{31}{40}$)	15' ($\frac{15}{20}$)
Weiss	weiss	weiss	weiss	weiss
Grau	grau	grau	grau	grau
Braun	sehr dunkel grau	dunkelgrau	graubräunlich?	graubraun
Rothbraun	sehr dunkel (fast schwarz)	sehr dunkel	dunkel (bräunlich)	dunkel-rothbraun
Schmutzig-roth	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz mit rothbräunlich. Stiche
Feuerroth	schwarz	fast schwarz mit röthlichem Schimmer	dunkelroth	roth
Orange	deutliches orangeroth (dunkel)	orange	orange	orange
Orangegelb	hell röthlich-gelblich	röthlichgelb	orangegelb	orangegelb
Gelb	weisslich (gelblich?)	weisslichgelb	gelb	gelb
Gelbgrün	weisslich	weisslich (grünlich?)	weissgrünlich	weisslichgrünl.
Grün	dunkelgrau	dunkelgrünlich	dunkelgrün?	grün
Dunkelgrün	dunkelgrau	dunkelgrau	grau (grünl?)	graugrünlich
Weisslich-blau	weisslich	weisslich (grünlich?)	weisslichgrünlich?)	grünlich? od. bläulich?
Blau	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelgrau (bläulich?)	dunkelblau
Purpurviolett	schwarz	fast schwarz	sehr dunkel	dunkelviolett

8) Meine Augen sind emmetropisch mit normaler Sehschärfe.

b) Auf weissem Grunde.

Distanz in Fuss	45' ($\frac{45}{70}$)	40' ($\frac{40}{50}$)	31' ($\frac{31}{40}$)	15' ($\frac{15}{20}$)
Schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz
Grau	unsichtbar	dunkelgrau	grau	grau
Braun	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	dunkelgrau	dunkelbräunl.
Rothbraun	schwarz	sehr dunkel	sehr dunkel	dunkelrothbraun
Schmutzigroth	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz mit rothbräunl. Schimmer
Feuerroth	schwarz	fast schwarz	sehr dunkel mit röthl. Schimmer	deutlich roth
Orange	rothorange	orange	orange	orange
Orangegelb	unsichtbar	kaum sichtbar mit röthlichgelbl. Stiche	gelbl.-orange	orange-gelbl.
Gelb	unsichtbar	unsichtbar	kaum sichtb. mit gelbl. Stiche	gelb
Gelbgrün	unsichtbar	unsichtbar	kaum sichtbar grünlich?	weissl. grünl.
Grün	dunkelgrau	dunkelgrau	dunkel grünlich? oder etwas bläul.?	grün
Dunkelgrün	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	dunkelgrau (grünlich od. bläulich?)	schmutzig grünlich
Weisslichblau	unsichtbar	kaum (grünl.?)	grünlich	weisslich blau
Blau	sehr dunkelgrau	sehr dunkelgrau	dunkelgrau	dunkel bläul. violett
Purpurviolett	schwarz	schwarz	schwarz	dunkel violettlich

Resultate.

Die nach den drei obengenannten Methoden mit Pigmentfarben angestellten Versuche führen zu folgenden Ergebnissen:

1) Bei einem gewissen Grade der Beleuchtungsintensität erscheinen alle farbigen Pigmente farblos und unterscheiden sich durch grössere oder geringere Helligkeit von ihrer Umgebung (Aubert's Satz). Was die Reihe, in welcher die Farben nach ihrer Helligkeit aufeinander folgen, betrifft, so ist sie fast dieselbe, wie bei Aubert, nämlich bei mir auf schwarzem Grunde: 1) Weiss am hellsten, 2) Gelb, 3) Gelbgrün, Weisslichblau, 4) Orange gelb, 5) Grau, Grün und Blau, 6) Dunkelgrün und Braun, 7) Rothbraun und Orange, 8) Roth, Schmutzigroth, Purpurviolett (am dunkelsten). Dasselbe auch auf

weissem Grunde. Es versteht sich, dass die hellen Pigmente schärfer auf schwarzem Grunde, die dunkeln auf weissem Grunde deutlicher hervortreten: die ersteren als helle Quadrate, die letzteren als schwarze Quadrate. Die hellen Quadrate aber auf weissem (oder hellgrauem), die dunkeln auf schwarzem Grunde erscheinen wie der Grund selbst, so dass man nicht weiss, ob ein Quadrat da ist oder an der Stelle fehlt; die Worte „hell“ und „dunkel“ werden hier im Sinne von Aubert gebraucht, d. h. im Sinne der Helligkeitsdifferenz des farbigen Objects und des Grundes (Lichteindruck).

2) Bei geringer Verminderung der Beleuchtung erscheinen nur einige Pigmente farbig, während andere nur den Lichteindruck erzeugen (Weissgrau oder Schwarz). Im Allgemeinen kann man sagen, dass Orange am frühesten erkannt wurde als Farbe, dann Orangegelb, nachher Gelb, noch später Feuerroth und Grün, hierauf Weisslichblau, Blau, Braun und am spätesten Schmutzigroth und Purpurviolett.

Was die Differenz in dieser Hinsicht bei den verschiedenen Methoden betrifft, so ist sie nicht gross; so z. B. bei Anwendung der Rauchgläser: zuerst Orange, Gelborange und Gelb (auf hellgrauem Grunde zuerst nur Orange), dann Feuerroth, Grün und Gelbgrün, später: Weisslichblau, Blau, Dunkelgrün und Braun, zuletzt — Schmutzigroth und Purpurviolett. Dasselbe ist auch bei anderen Methoden der Fall: die Übereinstimmung besteht darin, dass Orange zuerst erkannt wurde, und dass Roth früher farbig erscheint als Blau, obgleich Blau viel heller ist, als Roth (d. h. auf schwarzem Grunde erscheint Blau bei sehr verminderter Beleuchtung wie Grau; während Roth ganz Schwarz — wie der Grund — ist). Daher steht die Wahrnehmbarkeit der Pigmentfarben bei schwacher Beleuchtung nicht in directem Zusammenhange mit ihrer Helligkeit (oder besser mit ihrem Lichteindrucke): die am besten erkennbare Farbe — Orange — ist zugleich sehr dunkel, dunkler als fast alle Farben mit Ausnahme des Roth und Purpurviolett; auch Feuerroth ist ein sehr dunkles Pigment, wird aber besser erkannt, als das viel hellere Blau; andererseits ist Gelb die hellste Pigmentfarbe und sie erscheint sehr früh farbig.

Im Allgemeinen ist die Reihe der Erkennbarkeit der farbigen Pigmente bei schwacher Beleuchtung fast dieselbe, wie bei Aubert, nur wurde bei ihm Roth zu derselben Zeit wie Gelb und Orange

erkannt und Dunkelgrün schlechter, als alle anderen Pigmente; wahrscheinlich wurde dieses verursacht durch die Verschiedenheit der Pigmente, obgleich mein Roth lichtstark und gesättigt (Feuerroth) war. Die Resultate von Landolt sind auch den meinigen ähnlich: bei ihm wurden auf schwarzem Grunde Gelb und Grün am frühesten erkannt (vom Orange sagt er nichts), auf weissem aber Orange und Grün (Gelb erwähnt er nicht). Aber die allgemeine Übereinstimmung zwischen den Resultaten von Aubert, Landolt und mir besteht darin, dass die rothen Pigmentfarben bei verminderter Beleuchtung früher als Farbe erkannt werden, als die blauen. Den Satz von Aubert über die relative Erkennbarkeit der verschiedenen Pigmentfarben kann man also folgendermaassen modificiren: die Farben des mittleren Theiles des Sonnen-Spectrum (mehr zum rothen Ende hin) werden bei grösserer Verminderung der Beleuchtung noch farbig erkannt, als die an den Enden desselben; und die Farben des rothen Endes werden dabei früher farbig erkannt, als die des violetten.

3) Der Grund der Pigmentfarbe ist von Einfluss auf die Erkennbarkeit derselben: im Allgemeinen werden die Farben auf schwarzem Grunde früher erkannt, als auf weissem. Den Satz von Aubert aber, dass die hellen Pigmente auf weissem Grunde, die dunkeln auf schwarzem Grunde leichter erkannt werden, konnte ich nicht bestätigen; man könnte zum Theil das Umgekehrte sagen, wie z. B. Taf. III zeigt, wo Gelb (die hellste Farbe) auf weissem Grunde schlechter erkannt wurde, als auf schwarzem Grunde.

4) Bei Verminderung der Beleuchtung verändern die Pigmentfarben ihren Farbenton und ihre Sättigung. Sehr interessant ist die Veränderung des Weisslichblau. Es nimmt allmählich einen grünlichen Ton an, erscheint sogar weisslichgrün und geht in hellgrau über (auf schwarzem Grunde). Nach Aubert sehen Hellblau und Grün bei einem gewissen Grade der Beleuchtung ganz gleich aus⁹⁾. Gelbgrün erscheint auch grünlich; Gelb zeigt einen röthlichen Ton (Gelblich-röthlich) und geht in Hellgrau über; Roth wird dunkler und nimmt einen bräunlichen Ton an (Braunroth) und nachher wird es Schwarz. (Nach

9) Ob eine solche Veränderung des Weisslichblau davon abhängt, dass Weisslichblau nach Aubert nicht weisslichblau, sondern grünlichblau ist? (Grundzüge d. phys. Opt. S. 528.)

Aubert wird Roth nicht Braunroth (oder Rothbraun), sondern Braun; das hängt aber von dem verschiedenen Begriff des „Braun“ ab¹⁰⁾. Orange wird mehr roth: Rothorange, und dunkler und geht auch in Schwarz über. Orange gelb nimmt auch einen mehr röthlichen Ton an und geht in Hellgrau über, es erscheint wie Gelb, nur etwas dunkler und mehr röthlich. Solches sehr geschwächtes Orange gelb, d. h. Grau mit röthlichgelblichem Stiche kann man braun nennen; dieses wird dem Begriffe Braun von Helmholtz, aber nicht dem von Aubert und Listing entsprechen. Braun geht, wenn es verdunkelt wird, in sehr dunkles Grau über; Rothbraun in Schwarz. Grün wird dunkler und dann dunkelgrau; Dunkelgrün geht durch Graugrünlich in sehr dunkles Grau über; Blau durch Graublau theilweise mit violetter Nüance auf weissem Grunde (Taf. III) in Dunkelgrau und Purpurviolett mehr violett werdend in Schwarz.

5) Die Farbe des Pigmentes wird nur im ersten Momente erkannt, nachher verschwindet sie und erscheint wieder bei kleinen Seitenbewegungen des Auges. (Satz von Aubert.) Ausserdem ist noch zu erwähnen, dass bei der Beleuchtung, bei welcher farbige Objecte nur den Lichteindruck hervorbringen, d. h. als helle, resp. dunkle Flecke erscheinen, diese Flecke (nämlich die hellen) schärfer heraustreten, wenn das Bild derselben neben die *Macula lutea* fällt. Ja einige Farben werden besser beim indirecten Sehen (unter kleinem Winkel) erkannt, wie z. B. Blau, was besonders Landolt erwähnt¹¹⁾.

Was den Grad der Beleuchtung, bei welcher verschiedene Pigmentfarben erkannt werden, betrifft, so ergiebt sich bei Zurückführung auf die Sehschärfe folgendes: bei einer Abschwächung des Lichtes, bei welcher die Sehschärfe kleiner als $\frac{6}{200}$ wird¹²⁾, erscheinen alle farbigen Objecte farblos: hellgrau, grau oder schwarz (ich spreche nur vom schwarzen Grunde, da die Pigmente darauf leichter erkannt werden). Dabei erscheinen die Quadrate selbst nicht wie Quadrate, sondern von unbestimmter Form wie Flecke.

10) Siehe die Vorbemerkung oben S. 2.

11) Wahrscheinlich hängt dieses von der Anwesenheit des gelben Pigmentes an der Stelle der *Macula lutea* ab. (S. Preyer, über den Einfluss des gelben Pigmentes u. s. w. im Archiv f. d. gesammte Physiol. Bonn 1868. S. 299.)

12) Ich nehme nur die farbigen Quadrate zu 2 Cm., die kleinern (zu 1 Cm.) werden schlechter erkannt, die grösseren Flächen aber (von 18 Cm. Länge und 10 Cm. Breite) etwas besser, obwohl die Differenz bei letzteren in dieser Hinsicht unbedeutend ist.

Bei der Beleuchtung $S = \frac{6}{200}$ werden schon Orange, zum Theil Orange gelb und Gelb erkannt; bei $S = \frac{6}{100}$: Feuerroth und Grün; bei $\frac{6}{70}$: Gelbgrün; bei $\frac{6}{50}$: schon Dunkelgrün, Blau, Weisslichblau und Braun; bei $\frac{6}{30}$: Schmutzigroth und Purpurviolett. Zur Erklärung des eben Erwähnten ist zu bemerken, dass die Sehschärfe für so kleine Distanzen mit den üblichen Mitteln nur annähernd bestimmt werden konnte und zweitens wird hier nur überhaupt die äusserste Grenze der Erkennbarkeit der Pigmentfarben angeführt, wobei diese Pigmente in veränderter Farbe erschienen.

Demnach besteht zwischen den Beobachtungen von Purkinje und Dove, welche auch mit Pigmentfarben angestellt wurden, und denen zufolge die rothe Farbe schlechter erkannt wird, als die blaue, und den Beobachtungen von Aubert, Landolt und mir ein vollständiger Widerspruch. Woher kommt er? Zunächst ist hervorzuheben, was schon früher erwähnt wurde, dass in der Empfindung der Farbe (wenigstens der Pigmentfarbe) streng Farben- und Lichteindruck zu unterscheiden ist, oder nach Aubert: „Helligkeit“ und „Färbung“, und dass in der Empfindung das Eine oder das Andere überwiegen kann, oder beide zugleich deutlich sein können. Wenn man hiervon ausgeht, lässt sich, wie mir scheint, der Widerspruch einigermaassen erklären. Bei Purkinje und Dove ist die Unterscheidung des Farben- und Lichteindrucks des farbigen Objectes anscheinend nicht durchgeführt. Purkinje sagt, dass Roth und Orange lange dunkel bleiben, während Blau am frühesten sichtbar wird, aber es ist noch die Frage, wie das blaue Pigment sichtbar wurde, ob blau oder nur sichtbar, als Grau, denn die blaue Pigmentfarbe erscheint bei schwacher Beleuchtung viel heller, als die rothe und gelbrothe. Davon erwähnt Purkinje nichts. Aber gegen diese Erklärung spricht der Umstand, dass Gelb bei schwacher Beleuchtung noch heller ist, als Blau, und es erschien doch bei Purkinje nicht früher, als Blau. Vielleicht spielt hier die Differenz der Pigmente die Hauptrolle oder Purkinje achtete in dem einem Falle auf den Lichteindruck, in dem anderen, wo schon ein Lichteindruck da war (beim Gelb) auf den Farbeneindruck. Dove und Grailich erwähnen nur zwei Farben, Roth und Blau. Grailich erklärt das frühere Verschwinden der rothen Farbe (auf Gemälden bei Verminderung der Beleuchtung) dadurch, dass Blau seinen Untersuchungen nach viel grössere Leuchtkraft (Helligkeit) hat, als Roth, und daher bleibe es länger sichtbar, als Roth; obwohl Roth auch der Ansicht von

Grailich nach einen grösseren chromatischen Eindruck hervorbringt, als Blau. Dadurch erklärt er auch dieselbe Beobachtung von Dove in der Gemäldegalerie sowie die Beobachtung von Pouillet¹³⁾, nach welcher das glänzendste Roth kleinere Leuchtkraft hat, als dunkles Blau, und dieses letztere kleinere, als Grau. Also handelt es sich bei der Erklärung von Grailich um den Licht- und nicht um den Farbeindruck, d. h. die blaue Farbe bleibt länger sichtbar, nicht als Blau, sondern farblos (grau).

Durch das frühere Verschwinden der rothen Farbe erklärt Dove, wie schon erwähnt wurde, die Erscheinung, dass bei schwachem Sternenlichte, die blaue Farbe des Himmels noch deutlich sichtbar ist. Aubert erwidert, dass das nichts beweist, da wir keinen röthlichen Himmel zur Vergleichung haben. Wahrscheinlich hängt die Erscheinung von der grösseren Menge der blauen Strahlen in der Atmosphäre ab, welche nicht reflectirt sind, sondern direct von der (untergegangenen) Sonne herrühren; wenigstens erwähnt Seebeck¹⁴⁾ als bekannte Sache, dass bei der Abenddämmerung die Strahlen geringerer Brechbarkeit — rothe und gelbe — aus der Atmosphäre am frühesten verschwinden. Wenn die Meinung Seebeck's richtig wäre, so würde das Überwiegen der blauen und violetten Farben in der Landschaft bei Abenddämmerung und auch die Sichtbarkeit des blauen Himmels in der dunklen Nacht einfach erklärt sein. Vielleicht hängt diese Sichtbarkeit des Himmels auch davon ab, dass die rothen Strahlen (durch Wasserdampf) in der Atmosphäre absorbirt werden, wie auch am Tage, und die blauen daher mehr hervortreten; dieses ist noch mehr in der Nacht der Fall, wenn die Lichtmenge bedeutend geringer ist. So wenigstens erklären Sorby (*On the colour of the clouds and sky. Philos. Magaz. f. Nov. 1867*) und einige andere Autoren (Lommel in Poggendorff's An. Bd. 131. S. 105) die blaue Farbe des Himmels, und daher erscheine der Himmel in tropischen Gegenden und im Sommer mehr blau, als in den kalten und im Winter. Letzteres freilich muss dahingestellt bleiben. (Die Sichtbarkeit des Himmels spricht jedoch, wie oben angeführt wurde, nicht gegen die grössere Erkennbarkeit der gelben und rothen Farben bei Verminderung der Beleuchtung. Jedenfalls zeigen die Versuche mit künstlicher Beleuchtung gerade das Umgekehrte.)

13) Poggendorff's Ann. Bd. 87. S. 496.

14) Poggendorff's Ann. Bd. 42. S. 176.

Diese Beobachtungen hinsichts der Erkennbarkeit der verschiedenen Pigmentfarben bei Verminderung der Beleuchtung stimmen ziemlich gut mit denjenigen überein, welche behufs Bestimmung des Minimum des Gesichtswinkels der farbigen Objecte angestellt wurden. Aubert¹⁵⁾ ordnet die Farben in dieser Beziehung in folgende Reihe: Orange (und Gelb), Roth, Grün, Hellblau und Blau. Hier kommen auch Landolt's Beobachtungen in Betracht, da er sehr kleine Objecte genommen hatte (2 Mm.). Er fand, dass bei Annäherung an diese Objecte (auf weissem Grunde) Orange zuerst erkannt wurde, dann Hellgrün, hierauf Roth, später Blau und Violett. Wittich¹⁶⁾, welcher übrigens sehr grosse Differenzen auf schwarzem und weissem Grunde erhalten hat, fand das Minimum des Winkels für Orange. Bei ihm war auf schwarzem Grunde die Reihe: Orange, Gelb und Roth (derselbe Winkel bei dauernder Betrachtung) oder Gelb, dann Orange und Gelborange (bei momentaner Betrachtung), der grösste Winkel war der für Violett und Dunkelblau. Meine Taf. III zeigt auch das Minimum des Winkels für verschiedene Farben, nur nicht bei heller Beleuchtung; die Reihe ist folgende: Orange, Orangegelb, Gelb, Roth, Grün, Gelbgrün u. s. w. auf schwarzem Grunde und dasselbe auch auf weissem Grunde, nur ist der Winkel grösser, mit Ausnahme desjenigen für Orange.

Ausserdem fand Aubert¹⁷⁾ bei Bestimmung der Empfindlichkeit für Farbennüancen, dass für Orange, Gelb und Grün ein Sector von 2° hinreicht, um auf der rotirenden weissen Scheibe den Farbeindruck hervorzubringen, für andere Farben muss er grösser sein. Dieselben Versuche bei schwacher Beleuchtung zeigten, dass Orange bei schwächerer Beleuchtung und kleinerem Sector einen farbigen Ring giebt, als andere Farben, dann folgten Gelb, nachher Roth und weiter Blau.

Nun entsteht die Frage: wovon hängt dieser Unterschied in der Erkennbarkeit verschiedener Pigmentfarben bei Verminderung der Beleuchtung ab? Er kann bedingt sein entweder durch eine grössere Empfindlichkeit des Auges für einige Farben, oder durch eine Verschiedenheit der verschiedenen Farben in der Helligkeit (im Sinne von Helmholtz) oder Intensität (im Sinne von Aubert) und Sättigung (Helmholtz) oder Nüance (Aubert).

15) Phys. d. Netzhaut S. 113—115.

16) Königsberger med. Jahrbücher 1864 Bd. IV, S. 37.

17) Ebenda S. 139—144.

Diese Frage zu lösen ist vor der Hand nicht möglich, da wir nicht im Stande sind, die Helligkeit der verschiedenen Farben zu bestimmen, d. h. die Menge der reflectirten Strahlen von bestimmtem Ton. Einstweilen kann man, da die Sättigung nur annähernd bestimmbar ist, nur sagen, dass die Pigmentfarben bei anscheinend gleicher Reinheit derselben sich bei der Verminderung der Beleuchtung so verhalten, wie es oben beschrieben wurde. Andererseits aber lässt sich behaupten, da die Pigmente ziemlich gleich gesättigt und hell waren ¹⁸⁾ (dem Ansehen nach, denn die Untersuchung mit dem Prisma kann auch befriedigende Resultate nicht geben) und da die anderen Beobachter fast dieselben Resultate erhielten, dass die ungleiche Erkennbarkeit der Pigmentfarben bei schwacher Beleuchtung wahrscheinlich von der ungleichen Empfindlichkeit der Netzhaut für diese Farben abhängt.

B. Versuche mit Spectralfarben.

Da die Pigmentfarben mehr oder weniger unrein sind, so hält man häufig die mit ihnen erhaltenen Resultate nicht für überzeugend, oder wenigstens nicht für genügend; daher musste auch mit Spectralfarben der Einfluss der Verminderung des Lichtes auf die Empfindung der Farben bestimmt werden. Über die Veränderung der Spectralfarben bei Abschwächung der Lichtintensität giebt es mehrere Angaben. Helmholtz (Physiolog. Optik S. 234, 281, 317) fand, wie schon oben (S. 3) erwähnt wurde, dass bei abnehmender Intensität Blau mehr Indigoblau, Violett rosa; Roth rothbraun, Gelb braun und Grün olivengrün wird. Bei Hochecker ¹⁹⁾ finden sich gleichfalls einige Mittheilungen über die Veränderungen der Spectralfarben. Er sagt, dass bei sehr schwachem Lichte Roth und Gelb dem normalen Auge bedeutend dunkler erscheinen mit ziemlich scharfer Grenze gegen Grün, welches hell erscheint und vom Blau in der Farbe nicht mehr zu unterscheiden sei: beide erscheinen grau mit leichtem grünlichblauem Ton; Blau und Violett erscheinen dunkler als Grün, aber ohne scharfe Grenze. Wie Hochecker die Abschwächung des Lichtes hervorrief und welches die Grenzen der Farben waren, ist nicht angegeben. Ausführlicher spricht davon Bezold ²⁰⁾. Er sagt,

18) Nur war Violett etwas dunkel.

19) Arch. f. Ophthalm. Bd. XIX 3. Abth. S. 32.

20) Poggendorff's Annal. 1873 Bd. 30. S. 237.

dass bei Abschwächung des Lichtes (durch zwei Diaphragmen) zuerst Gelb bedeutend schmaler wird; an der Stelle des Hellblau erscheint Blaugrün; Blau verschwindet fast völlig und wird durch Violett ersetzt. Bei weiterer Abschwächung des Lichtes verschieben sich die rothen Töne mehr dem Centrum des Spectrum zu; Gelb verschwindet; Grün grenzt unmittelbar an Violett. Bei noch weiterer Verminderung des Lichtes verschwindet Violett, Roth wird Braunroth; Grün wird blasser; hierauf verschwindet Braunroth und es bleibt nur Blassgrün übrig; endlich verschwindet der letzte Rest der Farbe, obwohl eine Lichtempfindung noch bleibt und man sogar einige Fraunhofer'sche Linien von D bis F dann noch sehen kann.

Zu meinen Beobachtungen benutzte ich meistens ein grosses Spectroskop (von Steinheil in München). Als Lichtquellen dienten das durch den Heliostaten reflectirte Sonnenlicht, das zerstreute Tageslicht und Lampenlicht; ausserdem verwendete ich auch das objective Spectrum der Petroleumlampe und der Magnesiumlampe. Die Abschwächung der Lichtintensität wurde durch das obenerwähnte System von Rauchgläsern hergestellt, welches vor den Spalt gestellt wurde, so dass dieser selbst immer gleich weit war und daher auch die Reinheit des Spectrum dieselbe blieb. Wegen des bedeutenden Einflusses der Lichtintensität auf die Lage der Spectralfarben, muss man zuvor diese Lage bei einer gewissen Intensität bestimmen. Ist das durch den Heliostaten reflectirte Sonnenlicht der Ausgangspunct, so ist für mich die Lage der Farben von der langwelligsten zur kurzwelligsten fortschreitend folgende: an der Fraunhofer'schen Linie A liegt das reine Rothbraun (über die Grenzen der Farben später), welches, allmählich mehr roth werdend, übergeht in reines Roth der Linie B; weiter nach C hin nimmt das Roth einen Orange-Ton an und geht in reines Orange zwischen C und D (näher bei D) über. Gelb liegt ein wenig jenseit D und bietet einen sehr schmalen Streifen dar. Grün liegt an den Linien b ein wenig nach F hin; durch Grünlichblau geht es in Cyanblau über bis $\frac{1}{3}G$; hier fängt schon Blau an. Es reicht bis G und etwas weiter, wo sich dann Violett anschliesst, das sich bis H und H_1 erstreckt.

Vermindert sich die Lichtintensität durch Einschaltung von Rauchgläsern, so ergiebt sich folgendes: Zuerst verschwindet Rothbraun, Roth wird dunkler, Gelb wird noch schmaler, Grün wird breiter. Einerseits geht es bis $D\frac{1}{4}$ E: Gelbgrün, von der anderen Seite bis F und sogar weiter (bis $F\frac{1}{4}$ G): Blaugrün, so dass

die Linie F nicht im Hellblau, oder besser Cyanblau, sondern im Bläulichgrün liegt. Blau zeigt auch eine grosse Veränderung: es wird bedeutend schmaler, so dass man reines Blau fast nicht mehr unterscheiden kann zwischen Grünblau einerseits, Violettblau andererseits. Violett beginnt in der Mitte von FG und reicht bis G und ein wenig weiter (bis $G\frac{1}{3}H$); also liegt es an der Stelle des Blau, während der eigentliche Ort des Violett ganz dunkel erscheint. Bei weiterer Abschwächung der Lichtintensität wird Roth braunroth, Orangeroth neben Linie C erscheint roth, Orange näher nach der Linie D gerückt, Gelb ist schon unsichtbar, an der Stelle desselben ein Röthlichgelblich, welches unmittelbar in Grüngelb übergeht. Grün reicht fast bis $F\frac{1}{3}G$, einen bläulichen Ton annehmend und hier geht es unmittelbar in Bläulichviolett über, weiter kommt Violett bis zur Linie G; noch weiter sieht man gar nichts. Bei fernerer Verminderung der Lichtintensität liegt schon auf Linie C Braunroth (weiter nach B hin ist es ganz dunkel), Roth und Orange liegen zwischen C und D (Roth fast in der Mitte, Orange aber sehr nahe bei D); Linie D ist mehr gelborange, die Stelle jenseit D deutlich gelblichröthlich, dann folgt unmittelbar Gelbgrün (Gelb existirt nicht); helleres Grün liegt zwischen E und B, weiter wird es allmählich dunkler und reicht fast bis zur Mitte zwischen F und G, wo es farblos (grau) wird. Grau erstreckt sich bis zur Linie G. Bei noch weiterer Abschwächung des Lichtes verkürzt sich das rothe Ende fast bis zu D; auf beiden Seiten von D findet sich noch deutliches Orangebräunlich oder sehr dunkles Orange, welches etwas weiterhin in Blassgrün übergeht; dieses Grünliche, immer dunkler werdend, reicht weiter, als F und jenseit F ist alles dunkelgrau bis zu zwei Drittel zwischen F und G.

Wird noch mehr verdunkelt, so verschwinden die Farben gänzlich und es bleibt nur eine graue Stelle anstatt derselben übrig, dunkler an den Rändern und heller in der Mitte: entsprechend der Strecke zwischen den Linien D und F. Der hellste Theil dieses Raumes liegt ungefähr in der Mitte, nur wenig zur Linie D hin von derselben abweichend.

So erscheint die Anordnung der Farben im dispersiven Spectrum bei Verminderung der Intensität des in den lichtdichten Apparat fallenden Lichtes, wenn sie gerade durch das Ocular beobachtet werden. Da aber auf die genaue Bestimmung der Lage einer einzelnen Farbe die anderen Farben Einfluss haben können, so habe ich die Beobachtungen auch in folgender Weise angestellt: das einfallende Licht wurde bis zu einem Grade vermindert, dass

ich keine Farbe mehr unterscheiden konnte. Ich beobachtete dann, successive die Rauchgläser ausschaltend, die Veränderungen und Lagen der Farben, mittelst eines metallenen Schiebers mit schmalen verticalen Spalten, welcher hinter das Ocular eingeschaltet wurde und vermittelt dessen man einzelne Farben mit den entsprechenden Scalentheilen (Wellenlängen) isoliren konnte ²¹⁾. Dabei ist zu bemerken, dass das durch den Heliostaten reflectirte Sonnenlicht zu diesem Zwecke nicht verwendet werden konnte, da beim Einsetzen aller Gläser (10) die Verdunkelung nicht so gross war, dass alle Farben verschwanden. Da aber das auf solche Weise abgeschwächte Sonnenlicht seiner Wirkung nach für die Empfindung der Spectralfarben ganz gleich dem weniger abgeschwächten, d. h. dem durch eine geringere Anzahl der Rauchgläser durchgelassenen diffusen Tageslicht war, so benutzte ich dieses letztere. Nachdem die Lage der Fraunhofer'schen Linien in Scalentheilen genau bestimmt war, liess ich das zerstreute Tageslicht durch alle Gläser gehen, und es ergab sich eine solche Verdunklung des Spectrum, dass ich nun keine Farbe mehr unterscheiden konnte; aber ein Theil des Spectrum erzeugte noch einen Lichteindruck, nämlich die Strecke zwischen der Linie D einerseits und fast der Mitte des Raumes zwischen F und G andererseits. Dieser Abschnitt erschien grau, dunkler an den Rändern und heller in der Mitte; die hellste Stelle lag an dem Ort der Linie E, welche jedoch selbst nicht mehr erkannt wurde. Bei Ausschaltung eines Glases ergab sich folgendes: in der Entfernung von $\frac{1}{5}$ von D (nach C hin) findet sich eine Grenze des sichtbaren Theils des Spectrum; an dieser Grenze sieht man deutliches, obwohl sehr dunkles, Braunröthlich oder Roth-Orangebraun; weiter nach D zu und auf D ist diese Nüance weniger roth, aber orangebraun und ein wenig heller, weiter über D hinaus nach E zu, auf der Strecke $\frac{1}{6}$ des Raumes zwischen D und E, kann man Gelblichröthlich noch etwas heller als auf D sehen; weiter nach E hin wird die Helligkeit grösser, obgleich die Farbe nicht zu erkennen ist. Die hellste Stelle liegt zwischen der Mitte von DE und E; noch weiter über E hinaus nimmt die Helligkeit allmählich ab, und dieser Theil erscheint dunkelgrau; die Grenze liegt nahe der Mitte zwischen den Linien F und G.

21) Diese Einrichtung wurde nach der Initiative des berühmten Anatomen Max Schultze getroffen (siehe Preyer, Über die Wellenlängen reinsten einfarbigen Lichtes in der Jenaischen Zeitschrift f. Med. u. Naturwissensch. 5. Bd. S. 377).

Ausschaltung zweier Gläser: die Grenzen des sichtbaren Spectrum verbreitern sich nach beiden Seiten: einerseits bis zur Mitte zwischen C und D, wo das schwer sichtbare, sehr dunkle Rothbraun mit einer Orange-Nüance bemerkbar ist; in der Mitte zwischen dieser Grenze und der Linie D sieht man deutliches Roth-Orangebraun aber sehr dunkel; weiter nach D hin wird es heller, eine etwas gelbliche Nüance annehmend, so dass auf Linie D Orangebraun liegt (d. h. dunkles Orange); weiter als D von $D\frac{1}{4}$ E an wird das Orangebraun heller und es erscheint deutliches Gelblich-röthlich, welches an der eben bezeichneten Grenze einen grünlichen Ton annimmt und heller wird; dieser helle grünliche Ton geht bis zu den Linien b und etwas weiter, und dann fängt er an dunkler zu werden, und jenseit F geht er allmählich in Dunkelgrau über, welches man fast bis zur Linie G verfolgen kann. Die hellste Stelle liegt im grünen Theile, an derselben Stelle, wie im vorigen Falle.

Ausschaltung von vier Gläsern: die erste Grenze liegt schon bei $C\frac{1}{4}$ D: Braunorangeroth; weiter nach D zu tritt ein Orange-Ton mehr hervor; etwas weiter als D tritt, wie im vorigem Falle, Gelblich-röthlich auf, welches unmittelbar an Grünlich — die hellste Stelle — grenzt; von B an wird Grün dunkler, dann folgt, wie früher, Grau, welches fast bis G reicht.

Ausschaltung von sechs Gläsern: die Grenzen rücken weiter auseinander, es erscheint noch Grau mit violetter Nüance. Einerseits geht diese Violett-Nüance in dem ersten Drittel von FG in Grün, andererseits an der Grenze des zweiten und dritten Drittels von FG in Dunkelgrau über, welches bis G reicht. Am rothen Ende findet sich die Grenze bei der Linie B als dunkles Rothbraun, welches nach C reines Roth wird und durch reines Orange (fast auf D) in gelbliches Orange (etwas weiter als D) übergeht; weiter wird das Gelborange mehr gelblich und in dem ersten Drittel von DE geht es in Gelblichgrün über; auf Gelblichgrün folgt Grün, welches, wie schon gesagt, an Violett stösst.

Bei Ausschaltung von acht Gläsern sind die Veränderungen in der Lage des Roth und Orange sehr gering gegen das Vorige: Rothbraun und Roth erstrecken sich etwas weiter nach a, als früher, Gelb fängt an zu erscheinen, nämlich gleich neben D (an dessen E-Seite), aber der gelbe Streifen ist so schmal, dass eigentlich reines Gelb für sich nicht gesehen wird; Gelblichröthlich stösst geradezu an Grüngelb; auch erscheint theilweise Blau, einerseits nämlich Bläulichgrün, an der Grenze des ersten und zweiten

Drittels von FG, andererseits Bläulichviolett, welches in der Mitte zwischen F und G deutlich violett wird und dunkler werdend bis G sich erstreckt.

Endlich, bei Ausschaltung der letzten Gläser, also im lichtschwachen Spectrum des zerstreuten Tageslichtes ordnen sich die Farben in folgender Weise: deutliches Roth liegt auf beiden Seiten der Linie C, weiter nach B zu wird es dunkler und bei B (auf beiden Seiten) deutlich Braunroth. Deutliches Orange liegt zwischen dem zweiten und dritten Drittel von CD, auf Linie D: Gelborange (also mit Überwiegen des Orange); Gelb ist so schmal, dass es schwer ist die Lage des reinen Gelb zu bestimmen; man sieht eher, dass Röthlichgelb unmittelbar in Grüngelb übergeht; dieses letztere wird allmählich mehr grün, und deutliches Grün liegt zwischen E und fast der Mitte von CF. Weiterhin fängt ein Grün mit leichter bläulicher Nüance an. Bläulichgrün (mit Überwiegen des Grün) reicht weiter, als F, nämlich bis zur Grenze des ersten und zweiten Drittels von FG, wo es durch einen sehr schmalen blauen Streifen von Violettblau getrennt ist. Violettblau wird im dritten Drittel von FG deutliches Violett, welches bis G reicht; eine leichte Rosa-Nüance annehmend geht es dann weiter als G und wird dunkler.

Dieselben Veränderungen, wie das Sonnenspectrum, zeigt auch das Spectrum der Petroleumlampe, daher es ausführlich zu beschreiben überflüssig ist; ich bemerke nur, dass bei grösster Verminderung der Lichtintensität die rothgelben Nüancen schärfer hervortreten, als beim Tageslicht, die Grenzen für Roth waren etwas weiter, für Blau und Violett etwas enger. Dasselbe Resultat gab auch das objective Spectrum des durch ein Schwefelkohlenstoff-Prisma zerlegten Lampenlichtes.

Resultate.

Sonach sind die Veränderungen der Spectralfarben bei Verminderung der Lichtintensität, wie ich sie beobachtete, nicht ganz dieselben wie die, welche Bezold erhielt. Eine Differenz besteht darin, dass nach Bezold Violett sich lange nicht so verschmälert und auch Roth nicht, welches sich nach ihm nur nach dem Centrum zu verschiebt. Wie ist diese Verschiebung nach dem Centrum zu verstehen? Mir scheint, dass die mehr central liegenden Farben solche Veränderungen zeigen, als ob sie mit den an den Enden liegenden gemischt würden. Jedenfalls kann hier nur von

Veränderungen des Charakters (Tones) der Farbe, aber nicht von einer wahren Verschiebung derselben die Rede sein. Auch die Beobachtung von Bezold, dass bei grösster Verminderung der Lichtintensität die letzte sichtbare Farbe Grün ist, ist nicht richtig; obgleich Grün bei Abschwächung des Lichtes als das breiteste farbige Feld im Spectrum und als das hellste erscheint. Aber wenn ich Grün sehe, kann ich noch deutlich auf einer Grenze des Grün (d. h. nach D) Gelblichröthlich und dunkles Rothorange unterscheiden, und sogar dann, wann Grün nicht mehr sichtbar ist. Es ist wahr, dass diese zuerst unterscheidbaren Farben sehr dunkel sind, so dass die Erkennbarkeit derselben ohne Schieber hinter dem Ocular nicht möglich ist; daraus erklärt sich wahrscheinlich meine Abweichung von Bezold's Befund.

Aus den beobachteten Veränderungen der Spectralfarben bei Verminderung der Lichtintensität kann man folgende Sätze ableiten:

1) Bei sehr grosser Verminderung des Lichtes erscheinen alle Spectralfarben farblos und unterscheiden sich nur durch ihre Helligkeit. Einige sind viel heller, als der schwarze Grund und zwar die zwischen der Linie D und fast der Mitte zwischen F und G liegenden; die hellste Stelle liegt zwischen D und E, fast in der Mitte. Nach der Helligkeit kann man diese Farben in folgende Reihe ordnen: Gelbgrün, Gelb, Grün, Cyanblau, Orange gelb und theilweise Blau. Die anderen Farben aber erscheinen dunkel, wie der Grund, nämlich alle ausserhalb der eben genannten Grenzen liegenden: Roth, Rothbraun, Orange, theilweise Blau (oder Violettblau) und Violett. Also verhalten sich die Spectralfarben hinsichts ihrer Helligkeit, d. h. hinsichts ihrer Differenz vom dunkeln Grunde ganz ebenso, wie die Pigmentfarben; und ebenso werden sie, wie Pigmente, bei einer gewissen, sehr grossen, Verminderung der Lichtintensität farblos.

Demnach ordnen sich bei Verminderung der Intensität des Lichtes die Spectralfarben nach ihrer Helligkeit (Helligkeitsdifferenz mit dem Grunde) fast in dieselbe Reihe, wie die ist, in der sie im Spectrum nach ihrer so zu sagen farbigen Helligkeit erscheinen, da nach Messungen von Fraunhofer²²⁾ und Vierordt²³⁾ die hellste Stelle des Spectrum zwischen D und E liegt — im Gelb —, dann bei D — Orange gelb —, dann bei E — Gelbgrün (und

22) Denkschriften der Akad. zu München 1814.

23) Die Anwendung des Spectralapparates u. s. w. Tübingen 1871.

auch Grün) u. s. w. Am wenigsten hell sind Roth, Blauviolett und Violett.

Demnach können wir auch die Helligkeit (Intensität) der Pigmentfarben bestimmen durch die Bestimmung der Helligkeitsdifferenz zwischen dem Pigmentobjecte und dem dunkeln Grunde bei bedeutender Verminderung des Lichtes (natürlich unter der Voraussetzung, dass die Pigmentfarben gleich gesättigt sind, und dass die Helligkeit der Farbe (Lichtstärke von Helmholtz, Intensität von Aubert) von der Schwingungsweite der Ätherwellen (bei Spectralfarben) oder von der Intensität der Beleuchtung (bei Pigmentfarben) abhängt, was auf dasselbe herauskommt. Denn die oben angeführte Reihe der Pigmentfarben nach ihrer Helligkeit stimmt mit der der Spectralfarben in dieser Hinsicht überein.

2) Bei geringerer Verminderung der Lichtintensität erscheinen einige Spectralfarben noch farbig, andere aber nicht. Zuerst erscheinen die Farben, welche auf beiden Seiten der Linie D liegen, also: Gelborange, Orange-gelb und Gelb (obgleich verändert); bei Zunahme der Lichtintensität erscheinen Orange und Grün; bei noch weiterer Steigerung Roth und Blau (verändert), zuletzt Rothbraun und Violett.

Also ist hinsichts der Reihenfolge des Verschwindens der Spectralfarben bei Verminderung der Lichtintensität, oder der Reihenfolge des Wiedererscheinens bei der Zunahme vom Minimum der Intensität an, die Analogie mit den Pigmentfarben vollständig: auch hier erscheinen Orange und gelbliche Nüancen zuerst; der Unterschied besteht nur darin, dass spectrales Grün früher erscheint, als Roth, während die Pigmente nicht ganz dasselbe Verhältniss zeigen, indem Grün und Roth zu derselben Zeit erscheinen was daher kommt, dass Spectralgrün heller ist, als Roth.

3) Die Spectralfarben zeigen bei Verminderung der Lichtintensität bedeutende Veränderungen in Ton und Lage. Am meisten verändern sich in dieser Hinsicht Gelb, Grün und Blau. Während Gelb und Blau sich sogar bei geringer Verminderung der Lichtintensität bedeutend verschmälern und ganz verschwinden (obgleich Blau im dispersiven Spectrum des directen Sonnenlichtes die breiteste Farbe ist), erscheint Grün umgekehrt sehr breit: einerseits schiebt es sich zur Linie D vor, andererseits geht es weiter als Linie F, fast bis zur Mitte zwischen F und G; also wird Gelbgrün mehr grün und Cyanblau nimmt einen grünlichen Ton an. In dieser Hinsicht zeigt sich eine vollständige Analogie mit den Pigmentfarben: bei diesen erscheint ebenso bei

einem gewissen Grade der Abschwächung des Lichtes Gelbgrün mehr grün, und auch Weisslichblau mehr grünlich. Da das spectrale Cyanblau grünlichblau ist, so ergibt sich, dass bei Verminderung der Lichtintensität mehr der grünliche Ton hervortritt, der blaue aber zurücktritt. Gelb verändert sehr bald seinen Ton, es wird röthlichgelblich, sogar mit Überwiegen des Röthlichen, was auch bei dem gelblichen Pigment bemerkbar war. Blau verschwindet auch sehr bald bei Verminderung des Lichtes, seine grünlichen Nüancen (Cyanblau) werden deutlich grünlich, sogar grün, und Indigoblau nimmt einen deutlichen violetten Ton an, bei grösserer Verminderung des Lichtes aber wird es grau, und zwar viel heller, als Roth und sogar Orange, welche bei diesem Grade der Verdunklung ganz schwarz erscheinen. Dass Blau heller ist und grau wird, während Roth schwarz wird, wurde auch bei Pigmentfarben beobachtet; aber dass das blaue Pigment eine violette Nüance annahme, konnte ich nicht immer bemerken, nur auf weissem Grunde erschien es mit violetter Nüance (Taf. III). Was die anderen Spectralfarben betrifft, so zeigen sie dieselben Veränderungen, wie die Pigmentfarben: Rothbraun wird bald schwarz, ebenso Violett; Roth wird zuerst deutlich rothbraun und dann schwarz. Orange nimmt, wie bei Pigmenten, einen mehr röthlichen Ton an, wird bedeutend dunkler, rothorangebraun, und zuletzt schwarz. Orangegelb wird auch mehr röthlich und dunkler, ein Braun, mit Überwiegen übrigens mehr röthlicher Nüancen. Bei allen diesen Angaben ist festzuhalten, dass hier als Ausgangspunct die Lage der Farben im Spectrum des vom Heliostaten reflectirten Sonnenlichtes genommen wurde, worüber weiter unten näheres.

4) Bei Spectralfarben, wie bei Pigmenten, werden bei bedeutender Verminderung des Lichtes die Farben nur im ersten Momente erkannt, dann verschwinden sie, um bald wieder zu erscheinen. Kleine Bewegungen des Auges erleichtern auch die Erkennbarkeit der Farben (wahrscheinlich wird dieses verursacht durch die Ermüdung der Netzhaut).

Wir sehen also, dass der Hauptcharakter der Veränderungen der Spectralfarben bei Verminderung der Lichtintensität besteht: 1) in frühem Verschwinden des Gelb und Blau (als solcher) — welche sich so verändern, als ob die peripherischen Farben sich nach dem Centrum verschöben — und im Verschwinden des Roth und Violett, welche schwarz werden; 2) in der Verbreiterung des Grün, welches Cyanblau ersetzt und sich weiter nach dem Gelb

zu vorschiebt, und 3) in dem längsten Persistiren der Farben, welche um die Linie D liegen. Also auch bei Spectralfarben, wie bei Pigmenten, überwiegen bei Abschwächung des Lichtes nicht Blau und Violett, sondern Gelb, Orange und Grün.

Helmholtz bestätigte, wie schon erwähnt wurde, für Spectralfarben die Beobachtungen von Dove und Purkinje, und kam zu dem Resultate, dass bei schwacher Lichtintensität die blauen und violetten Strahlen, bei starker aber die rothen und gelben überwiegen; er machte diese Beobachtung bei vorausgesetzt gleicher Helligkeit der verschiedenen Farben. Aber hierzu ist zu bemerken, dass erstens wir keine Mittel haben die Helligkeit der verschiedenen Spectralfarben subjectiv gleich zu machen, da sie nach Qualität verschiedene Empfindungen geben, und zweitens wissen wir nicht, ob die Helligkeit der Spectralfarben (Lichtstärke nach Helmholtz) von der Amplitude der Ätherschwingungen oder von grösserer Empfindlichkeit unseres Auges gegen diese Farben, oder von der Mischung mit subjectivem Weiss abhängt. Da wir nicht wissen, wie viel jede dieser Ursachen an der Erzeugung der Helligkeitsempfindung Theil nimmt, und da wir nicht im Stande sind, Idealfarben gleicher Helligkeit darzustellen (Hering) (immer unter der Bedingung, dass unser Auge gegen alle Farben gleich empfindlich sei), so müssen wir uns mit jenen isolirten reinen und gesättigten Farben begnügen, welche wir im Spectrum haben; und solche Farben verhalten sich bei Verminderung der Lichtintensität so, wie es oben beschrieben ist, d. h. wie Pigmentfarben.

Die Frage zu beantworten, warum einige Spectralfarben — Gelborange, Orange gelb, Gelb — früher erkannt werden (aber etwas verändert) als andere bei grösster Verminderung der Lichtintensität — ob wegen stärkeren chromatischen Eindrucks dieser Farben auf unser Auge oder wegen ihrer Helligkeit (obgleich diese Farben dunkler erscheinen als der Theil des Spectrum weiter nach Linie E zu) — scheint mir vorläufig unmöglich. Wenn wir aber die Beobachtungen mit Pigmenten, die Bestimmungen des Minimum des Winkels für verschiedene Farben und bei verschiedenen Verfassern, die Beobachtungen von Aubert über die Empfindlichkeit für Farbennüancen u. s. w. zusammennehmen, so kann man wohl sagen, dass die Erscheinung vom stärkeren chromatischen Eindrücke der gelben und orangefarbigem Strahlen auf unsere Netzhaut wahrscheinlich abhängt. Schon Newton erwähnt, dass „*the yellow and orange colours affect the senses more strongly than all the rest together, and next to these in strength are the red*

and green. The blue compared with these is a faint and dark colour, and the indigo and violet are much darker and fainter. (Opticks Book 1. Prop. VII. Theor. VI. 1717. p. 85.)

II. Über den Einfluss zunehmender Lichtintensität auf die Farbenempfindung.

Über die Veränderungen der Farben bei Verstärkung der Lichtintensität finden sich nur wenige Angaben in der Litteratur. In seiner „Physiologischen Optik“ sagt Helmholtz in Betreff der Spectralfarben (S. 233), dass alle einfachen Farben sich bei grösserer Helligkeit in solcher Weise verändern, dass sie sich dem Weiss oder Weissgelb nähern; Violett erscheint bei mässiger Helligkeit Weissgrau mit leichtem bläulichviolettem Schein; Indigo-blau wird bei Zunahme der Helligkeit hellblau, dann weissblau und zuletzt weiss. Grün geht durch Gelbgrün in Weiss über, Gelb geradezu in Weiss, aber nur bei blendender Helligkeit. Roth verändert sich am schwersten; bei sehr grosser Helligkeit geht es in Hellgelb über. Helmholtz sagt weiter, dass diese Versuche mit einfachen wie mit gemischten Farben (durch gefärbte Gläser) gleich gut gelingen. Dasselbe wird auch S. 319 erwähnt.

Während der Einfluss der Verminderung der Beleuchtung auf Pigmentfarben von einigen Beobachtern bestimmt wurde, scheint sonst Niemand die Veränderungen durch Verstärkung der Beleuchtung untersucht zu haben. Ich bemühte mich auch diese Veränderungen zu bestimmen und zwar in folgender Weise: unter dem schwarzen Schirm mit der Quadratöffnung zu 1 Cm. Seite befand sich farbiges Papier, und dieses wurde durch directes Sonnenlicht beleuchtet; die Zunahme der Helligkeit wurde durch eine Linse mit kurzer Brennweite erhalten, wie sie zur Beleuchtung opaker Objecte bei Mikroskopen verwendet wird. Zuerst wurde das farbiges Object nicht in den Brennpunct der Linse gebracht, sondern jenseit desselben; dann wurde die Beleuchtung durch allmähliche Annäherung der Linse an das Object immer mehr verstärkt, und sie erreichte ihr Maximum, als der Brennpunct der Linse in die Ebene des Pigmentes fiel. Dabei ergab sich Folgendes: alle Farben werden heller und verändern ihren Ton. Gelb wird am leichtesten heller und weisslicher; bei bedeutender Verstärkung der Intensität des

auffallenden Lichtes, als der Brennpunct fast in die Ebene des Objectes fiel, wurde es blendend weiss. Orange zeigt bei etwas stärkerer Beleuchtung deutlich eine gelbe Nüance, welche bei weiterer Helligkeitssteigerung überwiegend wird, und beim Maximum erschien es weiss. Roth nahm zuerst mehr eine Orange-Nüance an, wurde dann mehr gelb und beim Maximum des Lichtes blendendweiss (jedenfalls so hell, dass keine Rede mehr von gelber Farbe sein konnte). Grün wird zuerst heller mit deutlicher gelblicher Nüance, und nachher bald hell und weiss. Dunkelgrün wird weissgrau und nur bei stärkster Beleuchtung weiss. Blau wird sehr bald hellblau und bei weiterer Verstärkung des Lichtes wird es immer mehr weiss und zuletzt ganz weiss. Hellblau geht unmittelbar in Weiss über. Purpurviolett wird weisslichviolett und nachher auch weiss. Braun nimmt einen gelblichen Ton an, wird gelblichgrau und dann geht es in grauweiss über.

Die Veränderungen der Pigmentfarben bei Verstärkung der Beleuchtung kann man zu gleicher Zeit in verschiedenen Abstufungen beobachten: bei der obengenannten Grösse des Objectes zu 1 □Cm., noch besser bei grösserem Objecte, sieht man, wie der Charakter der Farbe sich bei allmählicher Annäherung der Linse an das Pigment verändert von der Peripherie aus, wo sie unverändert ist, nach dem Centrum zu, wo sie blendendweiss erscheint. Um die Veränderungen der Farbe für sich deutlich zu beobachten, muss man kleinere Objecte nehmen, z. B. zu 1 □Mm., dann erscheint das ganze Object in dem veränderten Tone.

Also bestehen die Veränderungen der Pigmentfarben bei Verstärkung der Beleuchtung darin, dass sie allmählich in Weiss übergehen; einige direct, wie Gelb, Weisslichblau (reines Violett stand nicht zur Verfügung); die übrigen durch andere Töne: Roth durch Orange und Gelb, Orange durch Gelb, Grün auch durch Gelb; Blau durch Weisslichblau. Also dasselbe, was Helmholtz für Spectralfarben fand.

Was die Untersuchung der letzteren betrifft, so wurde die Steigerung der Lichtintensität durch das Vorsetzen der Linse vor den Spalt des Spectral-Apparates erzielt, so dass die Spaltweite selbst unverändert blieb. Durch die Linse (mit kurzer Brennweite) ging das von dem Heliostaten reflectirte Sonnenlicht und durch die Änderung des Abstandes der Linse vom Spalte konnte man verschiedene Grade der Helligkeit erhalten; das Maximum war erreicht, wenn der Brennpunct der Linse im Spalte des Spectroskopes lag.

Da bei der Anwendung der Linse nicht das ganze Spectrum die Veränderungen zeigt, sondern mehr weniger breite longitudinale Streifen desselben, besonders wenn der Brennpunct der Linse im Spalt des Spectroskopes liegt, und da in Folge der Divergenz der Strahlen im Gesichtsfeld viel zerstreutes weisses Licht erscheint und auf diesen Umstand Einwände gegen die Genauigkeit der Beobachtungen gestützt werden könnten, so richtete ich (ohne Linse) das Spectroskop auch direct auf die Sonne, wobei die Intensität des Lichtes so gross wurde, dass der centrale Theil des Spectrum unerträglich blendend erschien. Bei allmählicher Neigung des Spectroskops aber konnte man verschiedene Grade der Verstärkung der Lichtintensität erhalten. Es ergab sich hierbei, dass die Veränderungen der Spectralfarben dieselben waren, wie bei Anwendung der Linse, nur das Sehfeld und Spectrum selbst waren reiner, das Verfahren natürlich unbequemer.

Als Ausgangspunct wurde das Spectrum des vom Heliostaten reflectirten Sonnenlichtes genommen. Bei nicht grosser Verstärkung der Lichtintensität, ergab sich dann Folgendes: am schwersten ist die Lage des reinen Grün zu bestimmen; einerseits reicht bis $b^{1/4}$ F deutliches Gelbgrün, andererseits beginnt von $b^{1/4}$ F an deutliches Cyanblau. Die Linie F liegt schon im reinen Hellblau, welches bis $F^{2/3}$ G geht, wo es mehr blau wird; Blau erstreckt sich bis $G^{1/3}$ H, wo es einen violetten Schein annimmt; deutliches Violett mit einer rosigen Nüance liegt im letztem Viertel von GH (also neben H). Gelb verbreitert sich: einerseits geht es bis zur Linie D, andererseits von D aus bis $D^{1/4}$ E (reines Gelb); Orange verschiebt sich mehr nach C, und zwar liegt es in der Mitte zwischen C und D; reines Roth liegt auch weiter gegen das Ende des Spectrum, nämlich zwischen a und B; die eine Grenze des Spectrum, Rothbraun, liegt weiter als A und zwar in einer Distanz von A, welche der Hälfte zwischen A und a gleich ist. Die andere Grenze des Spectrum liegt weiter als H, als zum Rosa neigendes Grauviolett; diese Entfernung ist annähernd gleich einem Viertel von GH.

Bei weiterer Verstärkung des Lichtes erscheint zwischen D und etwas weiter als die Mitte von DE blendendes Licht, welches man nur sehr kurze Zeit ertragen kann; es erscheint weiss mit leichtem gelblichen Scheine an den Seiten; weiter nach E tritt ein grünlicher Ton hinzu, und dieses Grüngelb geht bis $b^{1/4}$ F; wo es an Hellblau grenzt; Hellblau geht fast bis $G^{1/2}$ H, so dass Indigoblau nicht existirt; noch weiter findet sich Grauweiss

mit rosabläulichem Scheine bis H; noch weiter — zwischen H und H_1 und in einem Abstand gleich der Hälfte von GH von H_1 — liegt Rosabläulichgrau, welches gegen das Ende mehr grau wird. Reines Roth liegt fast auf Linie a; die Grenze des Spectrum, Braunroth, erstreckt sich weiter, als A um eine Distanz, die etwas grösser ist als A a.

Bei noch grösserer Verstärkung der Helligkeit, nämlich bei dem von mir erreichten Maximum erscheint der Theil des Spectrum zwischen der Mitte von CD einerseits und nahe der Linie F andererseits blendend hell, so dass man gar keine Farbe unterscheiden kann, dieser Theil zeigt am einen Ende einen gelben Schein, am anderen einen hellblauen; reines Orange liegt auf beiden Seiten der Linie C, reines Roth auf Linie a und sogar zwischen A und a. Die Grenze des Spectrum liegt jenseit A, von A um etwas weniger als die Distanz AB entfernt. Hellbläulich geht bis $G\frac{1}{2}H$, hier mehr bläulichen Ton annehmend, von dieser Grenze an beginnt schon Weissgrau mit leichtem rosabläulichem Schein. Grauviolett liegt weiter als H_1 und die Grenze des Spectrum liegt von H_1 aus in einem Abstand, welcher fast der Strecke GH gleich ist, als etwas rosabläuliches Grau²⁴). Dabei muss ich bemerken, dass die Bestimmung der oben angeführten Grenzen des Spectrum durch Abblendung mit Hülfe des Schiebers geschah, ohne alle anderen Hilfsmittel, welche zur Bestimmung der äussersten rothen und violetten Strahlen des Spectrum dienen, wie z. B. gefärbte Gläser u. s. w. Bei Anwendung aber des rothen und des Kobalt-Glases liegt die Grenze des Spectrum weiter von A entfernt und reines Roth liegt noch mehr peripherisch.

Resultate.

Aus dem Mitgetheilten folgt, dass bei Verstärkung der Lichtintensität die Spectralfarben ihre Lage und ihren Ton verändern. Die bedeutendsten Veränderungen zeigen Gelb, Grün und Blau. Gelb verbreitert sich nach beiden Seiten: einerseits verdrängt es Grün andererseits Orange; beide nehmen eine gelbe Nüance an, und bei weiterer Verstärkung des Lichtes gehen

24) Diese direct gesehenen ultravioletten Strahlen beobachtete auch Seculiè (Poggend.'s Annal. Bd. 146 [1872] S. 157) bei Anwendung des directen Sonnenlichtes, aber sie waren bei ihm blaugrau oder silbergrau ohne eine Spur von Purpur. Jedenfalls kommt bei der Beurtheilung des Charakters dieser Strahlen die individuell verschiedene Fluorescenz der Augentheile in Betracht.

sie in blendendes Weiss über; Orange schwerer als Grün. Grün verschwindet sehr bald: es wird durch Gelbgrün ersetzt, welches unmittelbar an Grünlichblau stösst; bei grösserer Intensität des Lichts wird Gelbgrün mehr gelb und schliesslich blendend Weiss. Blau verbreitert sich wie Gelb sehr bedeutend, mehr hellblau werdend: einerseits geht es als reines Hellblau bis $b\frac{1}{4}$ F, also verdrängt es die grünlichen Nüancen; andererseits geht es fast bis zur Mitte von GH, also unter Verdrängung der violetten Nüancen; bei dem erreichten Maximum der Lichtstärke erscheint Blau weisslich mit leichtem bläulichen Schein; bei noch grösserer Lichtintensität würde es unzweifelhaft ganz Weiss erscheinen. Also Gelb und Blau überwiegen bei Steigerung der Lichtintensität und verdrängen das zwischen ihnen liegende Grün; und es schieben diese Farben auch durch ihre Verbreiterung die peripherischen Farben noch weiter nach der Peripherie hin; so erscheint Roth an der Stelle des Braunroth, Orange an der Stelle des Roth, anstatt des Orange Gelb. Dasselbe am anderen Ende des Spectrum: Violett verschiebt sich allmählich nach der Peripherie zu und erscheint an der Stelle des sonst unsichtbaren Ultraviolett; an seiner (des Violett) Stelle erscheint Weissgrau mit rosabläulichem oder violetterem Schein. Man kann annehmen, dass die anderen Farben, welche bei dem von mir erreichten Maximum der Lichtintensität, so zu sagen, auf dem Wege zum Weiss und zum Theil diesem bereits sehr nahe waren, bei noch grösserer Intensität des Lichtes in Weiss übergehen würden (Roth, Orange, Blau und Violett), denn die Veränderungen der Spectralfarben sind dieselben, wie die der Pigmente und solcher Art wie sie Helmholtz beschreibt, der Blau und Violett rein weiss werden sah.

Wenn man die Veränderungen der Spectralfarben bei Verstärkung und Verminderung der Lichtintensität miteinander vergleicht, so resultirt ein vollständiger Gegensatz: Wenn in dem einen Falle das Spectrum sich allmählich verschmälert, so verbreitert es sich in dem anderen nach beiden Seiten; beides, d. h. die Verkürzung und Verlängerung, ist im prismatischen Spectrum mehr nach der Seite des violetten als des rothen Endes bemerkbar. Was die Veränderungen der Farben betrifft, so verändern sich bei Verminderung des Lichtes die central liegenden Farben so, als ob die peripherischen sich nach dem Centrum verschöben, nur im Centrum selbst breitet sich Grün nach beiden Seiten aus; es ist also, als ob wir hier zwei entgegengesetzte Schiebungen

hätten: die eine vom Centrum, nämlich vom Grün aus centrifugal, die andere von der Peripherie zum Grün centripetal. Bei der Zunahme der Lichtintensität umgekehrt: das Spectrum verbreitert sich nach beiden Seiten; die peripherischen Farben verschieben sich centrifugal weiter nach der Peripherie und über diese hinaus; im Centrum liegt nicht Grün, sondern Gelb und Blau, welche sich in Folge ihrer Verbreiterung nach beiden Seiten einerseits (centripetal) nähern, Grün verdrängend, andererseits (centrifugal) sich mehr nach der Peripherie hin ausdehnen. Also bei der Verminderung des Lichtes ist die breiteste der centralen Farben Grün, bei der Verstärkung sind am breitesten Gelb und Blau; im ersten Falle verschwinden sehr bald Gelb und Blau (als solche), im zweiten umgekehrt Grün (als solches). Von den peripherischen Farben bleiben am längsten unverändert bei der Verminderung des Lichtes Orange (Roth und Violett werden bald schwarz); bei der Steigerung des Lichtes — obgleich sich Roth und Orange einerseits, Violett andererseits weiter nach der Peripherie verbreiten (und Violett weiter als Roth) — verliert Violett früher seinen Ton als Roth.

Überhaupt kann man sagen, dass die dauerhaftesten Spectralfarben bei Herabsetzung der Lichtintensität Grün und dann Orange sind, bei der Steigerung derselben Gelb, Blau und dann Roth. Um die Veränderung der Spectralfarben bei verschiedener Intensität des Lichtes übersichtlich zu machen kann die nebenstehende Tabelle dienen, wo nur die den vornehmsten Fraunhofer'schen Linien entsprechenden Farben angegeben sind (S. Taf. IV).

III. Über Lage und Ausdehnung der Spectralfarben bei mittlerer Lichtintensität.

Da, wie wir oben gesehen hatten, die Lage der Spectralfarben sich bei Veränderung der Lichtintensität verändert, so bestrebe ich mich, die Lage der reinen Spectralfarben zu bestimmen, auf welche sich die angewendeten Namen Roth, Grün u. s. w. beziehen. Die Lage dieser Farben bei Verminderung und Vermehrung der Lichtintensität ist soeben erörtert worden; hier will ich zunächst die möglichst genaue Lage der Spectralfarben beschreiben bei mittlerer Intensität derselben, nämlich bei Anwendung des durch den Heliostaten reflectirten Sonnenlichtes und so

Taf. IV.

Inten- sität	minimal	sehr schwach	schwach	etwas stärker	noch stärker	Intensität des Tageslichtes	mittelstark (Sonnenlicht)	stark	sehr stark
A	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	rothbraun	braunroth	roth
a	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	bräunlichroth	roth	roth
B	schwarz	schwarz	schwarz	rothbraun	rothbraun	braunroth	roth	orangeroth	rothorange
C	schwarz	schwarz	schwarz	bräunlichroth	roth	roth	rothorange	rothorange	orange
D	dunkelgrau	orangebraun	braunorange	orange	orange	gelbl.-orange	orange gelb	gelb	blendend weiss
E	hellgrau	hellgrau	grünlich	grün	grün	grün	gelbgrün	grünlichgelb	blendend weiss
b	grau	grau	grünlich	grün	grün	grün	grün	grüngelb	blendend
F	grau	grau	grau-grünlich	dunkelgrün	dunkelgrün	bläulich-grün	grünlichblau	hellblau	blendend
G	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	dunkelgrau violett	violett	violettblau	hellblau	blauweiss
h	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	violett	weissl.-violett	rosabläulich- weiss
H	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	schwarz	violettgrau	bläulich- rosa-grau	weisslich- bläulichrosa

engem Spalte, dass der kreisförmige Rand des Gesichtsfeldes vom Dunkel seines Grundes nicht oder kaum mehr unterschieden werden konnte. Obgleich die Spectralfarben allmählich ineinander übergehen, so dass es eigentlich unmöglich ist, die Grenzen irgend einer Farbe zu bestimmen, so ist doch nicht zu leugnen, dass es Theile im Spectrum giebt, welche nur einen bestimmten Ton zeigen, ohne irgend eine Beimischung eines anderen Tones; die Bestimmung dieser Theile ergiebt eben die Lage der reinsten Spectralfarben.

Solche Beobachtungen wurden ausführlich zuerst von Listing¹⁾ angestellt, welcher in der Anordnung der Spectralfarben das Gesetz gefunden zu haben glaubte, dass die Schwingungszahlen der verschiedenen reinsten Farben eine arithmetische Progression bilden. Der Unterschied zwischen den einzelnen Gliedern beträgt ihm zufolge annähernd 48 Billionen in 1 Secunde. Zugleich ergiebt sich für die beiden äussersten Endfarben Listing's, Braun und Lavendel, mit grosser Annäherung das Verhältniss der Octave. Diese Beobachtungen wurden vor mehreren Jahren von Prof. Preyer²⁾ wiederholt, welcher fand, dass eine solche Regelmässigkeit im Unterschiede der Schwingungszahlen der reinsten Farben nicht existirt, dass zwar mehrere Farben ziemlich genau localisirt, Gelb und Blau aber von Listing nicht richtig bestimmt wurden. Prof. Preyer nimmt Cyanblau nicht an als besondere Farbe, da es sich weniger unterscheidet von Blau, als die anderen Hauptfarben voneinander sich unterscheiden. Für seine Bestimmungen der Lage der reinsten Farben bediente er sich auch der Absorptionsspectra und der discontinuirlichen Spectra verschiedener Metalle und Gase, Listing verwendete nur das Sonnenlicht. Der Widerspruch zwischen den Beobachtungen machte eine erneute Prüfung wünschenswerth. Ich unternahm sie, wie gesagt, bei einer bestimmten mittleren Lichtintensität. Denn wahrscheinlich erklärt sich eben durch Nichtbeachtung der ungleichen totalen Lichtstärke die Thatsache, dass nicht alle Autoren, die einzelne Fraunhofer'sche Linie in dieselbe Farbe verlegen. So liegt z. B. nach Lamé die Linie F im reinen Grün (vgl. Listing l. c.), nach Anderen aber im Cyanblau, nach Einigen im Grünblau u. s. w. Freilich spielt hier die Individualität der Augen eine grosse Rolle, aber hauptsächlich hängt die Lage der Farbe im Spectrum von der

1) Separatabdruck aus den Verhandlungen der Versamml. der Deutschen Naturforscher und Ärzte in Hannover 1865. (Poggend.'s Annal. Bd. 131).

2) Jenaische Zeitschrift für Medicin und Naturwissenschaft. Bd. V. (1870) S. 376.

Intensität des Lichtes ab. So sehen wir, dass bei der Verminderung der Intensität Grün wirklich weiter geht, als die Linie F, so dass diese fast im reinen Grün liegt, während sie bei grosser Intensität in das Hellblau fällt. Zu meinen Beobachtungen benutzte ich das Sonnenspectrum mit dem schon erwähnten Schieber im Fernrohr, vermittelt dessen man die einzelnen Farben des Spectrum isoliren konnte. Ausserdem verwendete ich zur Controle auch die Absorptionsspectra einiger Stoffe, z. B. die des Jods, der Untersalpetersäure, des übermangansauren Kali in wässriger Lösung u. a., sowie die discontinuirlichen Spectra einiger Metalle. Wegen der Intensitätsverschiedenheiten dieser Spectra untereinander einerseits, gegenüber dem Sonnenspectrum andererseits können sie jedoch nur eine eingeschränkte Verwendung finden. Die Resultate dieser Bestimmungen sind folgende:

Das äusserste Roth oder Rothbraun (nach Listing Braun) liegt annähernd auf der Linie A. Die Kaliumlinie $Ka\ \alpha$ erscheint für mich etwas mehr roth, aber dieses hängt wahrscheinlich von grösserer Intensität der Ka-Flamme ab. Die Wellenlänge der Linie A ist 760,4³⁾. Man kann also für Rothbraun ungefähr dieselbe Wellenlänge annehmen, wie Listing und Preyer für Braun.

Das reinste Roth entspricht der Linie B, auf beiden Seiten derselben, etwas mehr nach C, als nach a; die Grenzwellenlängen nach Berechnung der den Scalentheilen zukommenden Wellenlängen sind 690,6 und 676,5, also die Mitte 683,5.

Das reinste Orange liegt zwischen C und D, und zwar etwa an der Stelle, wo das zweite an das dritte Drittel grenzt; die hier liegende Lithiumlinie $Li\ \beta$ ist fast rein orange und auch eine Kupferlinie. Man kann die dieser Linie entsprechende Wellenlänge als Grenzwert nehmen, nämlich 610,0 (Mascart); die andere Grenze ist 618,7, also die Mitte 614,3.

Das reinste Gelb liegt für mich gleich neben der Linie D (nach E zu) und stellt einen schmalen Streifen dar, so dass ich beim Isoliren mit dem Schieber auf einer Seite des Schieber-Spaltes Goldgelb, auf der anderen schon Grünlichgelb sehe; diese Grenzen des Gelb sind 580,3 und 574,1, die Mitte 578,2.

Das reine Grün liegt im Sonnenspectrum etwas weiter als b_4 (nach F zu), so dass man b_4 als die eine Grenze (516,6) neh-

3) Die Wellenlängen wurden mittelst der Tabellen von Ångström gefunden (*Recherches sur le spectre solaire*. Berlin 1869 Dümmler) und sind in Milliontel Millimeter angegeben.

men kann; die andere Grenze liegt bei 513,1; die Mitte ist 514,7. Im discontinuirlichen Spectrum erscheint die Baryumlinie Ba α mir deutlich gelblichgrün, Ba β schon bläulich. Die Magnesiumlinie auf b_4 erscheint fast rein grün, mit leichter gelblicher Nüance, so dass man sie als Grenze nehmen kann.

Anmerkung. Hier ist noch der im Helmholtz'schen Laboratorium ausgeführten Bestimmungen des reinen Spectralgrün von J. J. Müller (Arch. f. Ophthalm. Bd. XIV S. 430 u. 607) zu gedenken. Die Wellenlänge liegt nach ihm zwischen 501,7 und 510,7 (Mitte 506,2), also weiter nach der Linie F zu, als bei Listing, Preyer und mir. J. J. Müller bestimmte die Lage des reinen Grün in folgender Weise: da Grün bei Mischung mit anderen Spectralfarben eine Mischfarbe von geringerer Sättigung giebt, als die anderen Farben, so bestimmte er zuerst den Theil des Spectrum, welcher die Verminderung der Sättigung der Mischfarbe verursacht, und fand, dass dieser Theil zwischen b und F liegt. Die Stelle, welche die gleiche Sättigungsverminderung nach beiden Seiten giebt, liegt zwischen den Wellenlängen 501,7 und 510,7, was dem reinen Grün entspricht. Aber es ist zu bemerken, dass die Ausdehnung und Lage jener Strecke auch von der Lichtintensität abhängt. Bei Müller war diese Intensität ziemlich gering, was schon daraus zu ersehen ist, dass die Complementärfarben für die Enden des Grün (Grüngelb und Blaugrün) bei Müller näher zum Centrum des Spectrum lagen, und zwar Roth auf Linie C (656,2) und Violett auf g (422,6); weiter als diese Grenze konnte Müller nicht hinausgehen, weil es dort schon zu dunkel war. Hätte er eine grössere Lichtintensität gewählt, dann hätten die obengenannten Complementärfarben — Roth und Violett — weiter nach der Peripherie zu gelegen und Grüngelb und Blaugrün sich mehr genähert, und ihre Wellenlängen wären grösser gewesen, d. h. sie hätten näher zur Linie b_4 sich befunden. Wir haben gesehen, dass bei geringer Intensität des Lichtes (wie z. B. bei Müller) Grün nach beiden Seiten sich verbreitert, besonders nach der Seite der Linie F zu, und daher ist es verständlich, warum Müller gefunden hat, dass Grün weiter nach der Linie F liegt, als die anderen Beobachter es erhalten haben.

Das reine Blau (ich nehme gleichfalls nur ein Blau an, und nicht Cyanblau und Indigoblau wie Listing) ist sehr breit; die eine Grenze ist im Sonnenspectrum 473,0, die andere 453,2, die Mitte 460,7. Die Strontiumlinie Sr δ erscheint rein blau (460,7 nach Mascart).

Das reine Violett liegt in der Mitte zwischen den Linien G und H, übrigens mehr nach H, so dass die Mitte des reinen Violett mit der Linie h coincidirt (410,1). Die Grenzwerte sind 404,7 und 415,5. Die Kaliumlinie Ka β erscheint für mich rein violett 405,0, auch eine Calciumlinie (410,1); die Rubidiumlinien Rb α und β (420,3 und 421,7) sind schon blauviolett. Wenn man diese Grenzwerte der Wellenlängen mit denselben bei Listing und Preyer vergleicht, so ergibt sich die folgende Tabelle:

Taf. V.

Farben	Nach Berechnungen von Listing		Nach Beobachtungen von Preyer		von Chodín		Fraunhofer'sche Linien λ
	λ	n	λ	n	λ	n	
Rothbraun (Braun Listing)	819,8—723,4 768,6	363,9—412,5 388,2	770—760 765	387—392 389	768	388	A = 760,4 a = 718,3
Roth	723,4—647,2 683,2	412,5—461,0 436,7	686—678 682	435—440 437	690—676 683	432—441 436	B = 686,7
Orange	647,2—585,6 614,9	461,0—509,5 485,2	620—610 615	481—489 485	618—610 614	482—489 485	C = 656,2
Gelb	585,6—534,7 559,0	509,5—558,0 533,8	578—572 575	516—521 518	580—571 578	514—517 516	D = 589,2
Grün	534,7—491,9 512,4	558,0—606,6 582,3	516—510 513	578—585 581	516—513 514	577—581 579	E = 526,9 b = 516,6
Blau (Cyanblau und Indigo- blau Listing)	491,9—424,0 Grenze Cyan- blau u. Indigo- blau 455,5	606,6—703,6 655,0	468—458 463	637—651 644	473—453 460	630—664 647	F = 486,0 G = 430,7
Violett	424,0—396,7 409,9	703,6—752,1 727,9	415—405 410	719—736 727	415—404 410	718—736 727	h = 410,1 H = 396,8 H ₁ = 393,3

Die Wellenlängen (λ) sind in Milliontel Millimeter ausgedrückt, die Schwingungszahlen (n) bezeichnen Billionen in der Secunde. Aus dieser Tabelle sieht man, dass die Grenzwellenlängen bei mir sehr nahezu dieselben wie bei Prof. Preyer sind und sehr verschieden von denen Listing's für Gelb und Blau. Die Stelle des Spectrum, welche nach Listing dem Gelb ⁴⁾ entspricht ($\lambda = 559,0$) ist für mich sehr deutlich grüngelb; sie liegt etwas weiter (nach E) als die Grenze des ersten und zweiten Drittels zwischen D und E. Ebenso ist die Stelle, welche nach Listing dem Indig-Blau ⁵⁾ entspricht ($\lambda = 439,2$), für mich deutlich violettblau; sie liegt nahe der Linie G. Bei Vergleichung der Schwingungszahlen der verschiedenen Farben finden wir nicht (wie ich beiläufig bemerke: bei keiner Intensität) die arithmetische Progression, von welcher Listing spricht. Während der Unterschied zwischen den Schwingungszahlen für Rothbraun, Roth und Orange fast dem Unterschiede von Listing (etwa 48 Billionen) entspricht, ist dieser Unterschied für Gelb und Orange nur 31 Billionen, für Gelb und Grün 63 Billionen, für Blau und Violett 80 Billionen. Also das Gesetz von Listing ist nicht richtig, wie es schon Prof. Preyer gezeigt hat, dessen Resultaten die meinigen sehr ähnlich sind.

Noch muss ich bemerken, dass auf diese reinen Farben, deren Grenzen ich eben angeführt habe, sich die hier gebrauchten Namen beziehen.

IV. Über den Einfluss der Lichtstärke auf die binoculare Mischung der Farben.

Kaum giebt es in der Physiologie des Auges eine Frage, über welche die Ansichten so auseinandergehen, wie es bei der binocularen Farbenmischung der Fall ist. Während die Einen mit Bestimmtheit behaupten, dass solche Mischung möglich ist, leugnen es die Anderen nicht weniger bestimmt, und dieser Widerspruch besteht nicht nur unter den früheren Beobachtern, sondern auch unter den neusten. Gewiss ist, dass der Ausdruck „Mischfarbe“ von verschiedenen Autoren oft nicht in ganz gleichem Sinne ge-

4) Er beobachtete: hellstes Gelb zwischen $\lambda = 555$ und 560 .

5) Cyanblau Mitte $\lambda = 473,0$ und Indigoblau Mitte $= 439,2$. Grenze bei $\lambda = 455,5$.

braucht wurde, so dass man bei Anwendung derselben Einzel-Farben verschieden formulirte Resultate erhielt. Wenn man unter der „Mischfarbe“ diejenige Farbe versteht, welche die monoculare Mischung giebt, wie neuere Beobachter es annehmen, so wird die binoculare Mischfarbe einiger früherer Autoren diesem Begriff nicht entsprechen; so erhielt z. B. Völkers¹⁾ aus Gelb und Blau nicht Weiss oder Grau, wie bei monocularer Mischung, sondern Grün; die binoculare Mischfarbe einiger neuerer Beobachter entspricht anscheinend auch nicht der der monocularen Mischung, so wurde von Aubert²⁾ bei Anwendung blauer und gelber Gläser Grau mit einem Stich in's Grüne erhalten; Blau und Roth oder Blau und Violett geben ein röthliches Grau, Grün und Roth oder Grün und Violett ein Grau mit einem Stich in's Grüne, wenn das Grüne, mit einem Stich in's Röthliche, wenn das rothe oder violette Glas heller sind; Blau und Grün geben ein gelbliches Grau u. s. a. m.

Abgesehen aber davon geben einige Autoren, wie Dove³⁾, Regnault⁴⁾ (für Spectralfarben), Brücke⁵⁾ (für farbige Gläser), Fechner⁶⁾ (für subjective Farben) und Panum⁷⁾ (für Pigmente) bestimmt an, dass man aus complementären Farben Weiss erhalten kann, also handelt es sich hier um die wirkliche Mischfarbe. Dasselbe sprechen auch Bezold⁸⁾ und Dobrowolsky⁹⁾ aus, während Helmholtz¹⁰⁾ und einigen Anderen jene Farbe zu erhalten nicht gelungen ist. Bei ihnen trat immer Wettstreit der Sehfelder ein.

Was die Ursache solcher Meinungsverschiedenheit betrifft, so erklärten sie verschiedene Beobachter verschieden: durch verschiedene Refraction der Augen, Individualität, Differenzen der Helligkeit und Sättigung der Farben u. a. m. In neuerer Zeit schreibt Bezold das Misslingen der binocularen Mischung den Schwankungen der Accommodation zu. Da die verschiedenfarbigen Strahlen ungleiche

1) Archiv f. Anat. Physiol. u. wissenschaft. Medicin. 1838. S. 65.

2) Grundzüge d. ph. Optik. S. 552 und Phys. d. Netzh. S. 299.

3) Monatsber. d. Berlin. Akademie. S. 251 (1841) und Poggend. Annal. Bd. 80. 1850. S. 446 und Bd. 101. 1857. S. 149.

4) *Comptes rendus*. Bd. 28. 1849. S. 78 (Foucault et Regnault).

5) Poggend. Annal. Bd. 90. S. 606.

6) Abhandl. d. k. S. Gesellschaft d. Wissensch. Bd. 7. S. 390.

7) Arch. f. Anat. u. Physiol. u. wissenschaft. Medic. 1861. S. 86.

8) Poggend. Annal. Jubelband. 1874. S. 585.

9) Arch. f. d. gesammte Physiologie. Bonn 1875. S. 56.

10) Physiolog. Optik. S. 774—778.

Brechbarkeit haben, so ist es bei Anwendung von zwei Farben nothwendig, dass die Augen ungleich accommodiren, und diese ungleiche Accommodation verursacht nach Bezold den Wettstreit der Sehfelder; bei der Ausgleichung der Accommodation aber kann man nach ihm leicht dieselbe Mischfarbe, wie bei monocularer Mischung mit der rotirenden Scheibe erhalten¹¹⁾. Mit dieser Ansicht stimmt auch Dobrowolsky überein, obwohl er grösseres Gewicht auf die Schwankungen der Convergenz, als die der Accommodation legt.

In der Hoffnung, die Widersprüche aufzulösen, beschäftigte ich mich auf den Vorschlag des Herrn Professor Preyer, nach dessen Rathschlägen verfahrend, auch mit dieser Frage und bestrebte mich den Einfluss der verschiedenen Bedingungen, namentlich der Lichtstärke, auf die binoculare Farbenmischung zu ermitteln. Zu diesem Zwecke dienten verschiedene Methoden und hauptsächlich Pigmentfarben und farbige Gläser. Spectralfarben benutzte ich nur beiläufig. Es wird davon später die Rede sein.

A. Pigmentfarben. Ehe ich zu den Versuchen übergehe, ist es nothwendig, einige Besonderheiten meiner Augen mitzutheilen, da sie bei der binocularen Farbenmischung in Betracht kommen. Zunächst sind sie bezüglich der Refraction fast emmetrovisch, und zwar ist für das rechte Auge M_{70}^1 , das linke H_{80}^1 (mit voller Sehschärfe); die Accommodationskraft ist normal ($1/4$); die *mm. recti interni* sind sehr stark, so dass sie auf eine Entfernung von 2 Meter das Prisma von 40° überwinden können. Die *recti externi* sind gleichfalls stark (bis 22°). Ausserdem muss ich bemerken, dass meine Augen sehr leicht verschieden accommodiren können, da die Anwendung der Convex- und Concavgläser von ziemlich bedeutenden Nummern vor beiden Augen sehr leicht von ihnen überwunden werden.

Zuerst wandte ich an das Stereoskop von Brewster mit grossen farbigen Flächen, aber da ich dabei die Mischfarbe nicht erhalten konnte, was nach einigen Autoren von den Unebenheiten derselben abhängt¹²⁾, so wurden kleinere Flächen von 2, 1 und $1/2$

11) Regnault und Foucault (s. oben) erklären gleichfalls das leichte oder schwere Hervortreten der binocularen Mischfarbe durch die ungleiche Accommodation für verschiedenfarbige Strahlen; so geben nach ihnen Blau und Gelb Weiss am leichtesten deshalb, weil die Accommodation der Augen für diese Farben gleich ist; aber sie erwähnen noch andere Bedingungen.

12) Ich muss jedoch bemerken, dass Einige die Mischfarbe erhielten unter genau denselben äusseren Bedingungen, bei denen ich sie schlechterdings nicht erhielt.

Cm. Seite verwendet. Trotz unzähliger Versuche gelang es mir jedoch nicht die wirkliche Mischfarbe zu erhalten, d. h. die, welche auf der rotirenden Scheibe entsteht oder (und dieses Verfahren benutzte ich viel öfter) die, welche bei monocularer Mischung nach Helmholtz mit Hülfe der verticalen Glasplatte herauskommt. Ich erhielt immer den Wettstreit der Sehfelder, welcher übrigens nicht bei allen Farben gleich deutlich hervortrat; so war er in geringerem Grade vorhanden bei Anwendung des Orange und Grünblau, wobei die Farben selbst blasser erscheinen, als z. B. bei Gelb und Blau. Bei kleinen ($1\frac{1}{2}$ Cm.) Objecten traten die Farben überhaupt weniger deutlich hervor, als bei grösseren, aber die Mischfarbe blieb aus. Da der Wettstreit der Sehfelder nach Bezold von den Schwankungen der Accommodation abhängt, so suchte ich diese zu beseitigen, obwohl meine Augen, wie schon erwähnt wurde, leicht gleichzeitig für 2 verschiedene Distanzen accommodiren können. Zu diesem Zwecke dienten verschiedene sphärische Gläser vor den Augen (convexe vor den Farben grösserer, concave vor denen geringerer Brechbarkeit), aber diese Gläser änderten das negative Resultat nicht; es erschien sogar bei Anwendung des Convexglases das Object, vor welchem sich dieses Glas befand, weniger deutlich, und bei stereoskopischer Vereinigung der Farben überwog die des deutlicheren Objectes. Einige halten es für leichter, die Mischfarbe aus Roth und Blau zu erhalten, aber es gelang mir nicht dieselbe zu bekommen. Wohl ist wahr, dass bei Vereinigung dieser Farben eine von beiden unterscheidbare Farbe erhalten wird, aber dieselbe ist nicht Purpur, wie bei monocularer Mischung, sondern blass, bald mit bläulich-röthlichem Schein, bald mit deutlichem Hervortreten der einen oder der anderen Einzel-Farbe.

Da die sphärischen Gläser keinen günstigen Einfluss auf die Erzielung der binocularen Farbe übten, so wiederholte ich wegen der verschiedenen Accommodation beider Augen noch die Versuche von Bezold. Ein schwarzer Schirm mit zwei Quadratöffnungen von $2\frac{1}{2}$ Cm. Seite und in einer Distanz voneinander, die annähernd gleich war der Entfernung der Augen voneinander, wurde so gestellt, dass seine zum Fenster gewandte Fläche, welche mit weissem Papier behufs gleichmässiger Beleuchtung der hinter ihm befindlichen Objecte beklebt war, in einer Entfernung von 18 Cm. von zwei hölzernen Würfeln mit farbigen Flächen, welche Zeichen für die Fixation hatten, sich befand. Wenn man durch diese Öffnungen die farbigen Flächen in der Nähe betrachtet, so

dass nur eine aus den 2 Quadraten erhalten wird, so kann man nach Bezold bei einem gewissen Abstand der Würfel voneinander (z. B. war der blaue Würfel 2 bis 3 Cm. näher als der rothe) leicht die Mischfarbe erhalten, wobei die Fixationszeichen gleich deutlich gesehen werden. Dasselbe erhielt Bezold in grösserer Entfernung von den Objecten, bei gleicher Stellung derselben zu einander, als er durch Divergenz der Sehaxen aus den 2 Objecten 3 herstellte, das mittlere Object (Loch) erschien nämlich in der Mischfarbe, woraus Bezold schloss, dass das Nichterscheinen der Mischfarbe von der verschiedenen Accommodation für verschiedene Farben abhängt. Bei vielfacher Wiederholung dieses Versuches konnte ich kein Mal die Mischfarbe erhalten, trotz der Verschiebungen der farbigen Würfel und obwohl ich die Fixationszeichen derselben sehr deutlich bei manchen Stellungen sehen konnte, was eben nach Bezold die Mischfarbe geben müsste. Dabei ist zu bemerken, dass bei Betrachtung in der Nähe der Wettstreit der Sehfelder sehr deutlich hervortritt, und die Farbe des rechten Objectes etwas öfter erscheint, als die des linken (bei beiden Stellungen der Objecte gegen einander). Dabei sind die Farben selbst blasser. In grösserer Entfernung (3 bis 4 Meter) erscheint beim Betrachten mit parallelen Sehaxen die Farbe der mittleren Öffnung (Quadrat) auch blasser, wie Hellgrau mit schwacher Nüance bald der einen, bald der anderen Farbe, vorzugsweise der Farbe des linken Objectes, so dass die mittlere Quadratöffnung manchmal in ganz ähnlicher Farbe erscheint, wie die linke, nur etwas blasser. Übrigens wurde diese Erscheinung nicht an allen Farben deutlich beobachtet; so z. B. wenn Gelb links, und Blau rechts liegt, tritt das Überwiegen der Farbe des linken Quadrates (des Gelb) sehr deutlich hervor, bei umgekehrter Stellung aber ist das Überwiegen des Blau nicht bemerkbar. In mittlerer Entfernung traten die beiden Farben gleich oft hervor, obwohl sie, wie schon bemerkt, überhaupt blasser waren. Dieser Charakter der Farbe der mittleren Öffnung — Hellgrau mit farbiger Nüance — ist nicht nur bei Anwendung complementärer Farben, sondern auch nicht complementärer, z. B. des Blau und Roth, vorhanden.

Also weder im Stereoskop, noch nach Bezold's Verfahren konnte ich die Mischfarbe herstellen, wenigstens nicht bei mittlerer und gleichmässiger Beleuchtung durch diffuses Tageslicht.

Vielleicht hängt das Misslingen der Versuche von den Schwankungen der Convergenz ab, wie Dobrowolsky behauptet. Abgesehen von der bedeutenden Kraft meiner inneren Augenmuskeln,

welche leicht stark und lange in der Nähe zu convergiren gestattet, suchte ich dennoch den Einfluss dieses Factors bei der binocularen Farbenmischung zu bestimmen. Ich benutzte dazu mehrere Stereoskope mit nicht ganz gleichem Abstand der Prismen von der Objectfläche (eines war ein sogenanntes Americanisches ohne Kasten, wo das Object auf einem mit Theilungen versehenen Lineal befestigt wird und in verschiedene Entfernungen von den Prismen durch Schiebung gebracht werden kann), aber bei allen dasselbe Resultat, d. h. mehr weniger deutlicher Wettstreit der Sehfelder, wobei ich das Vor- und Zurückschieben der Objecte innerhalb weiter Grenzen nicht wahrnahm. Um mich zu überzeugen, dass keine solche Schiebung der Objecte stattfand, brachte ich in der Mitte der farbigen Objecte Zeichen an, welche bei stereoskopischer Vereinigung einander deckten: auf einem Objecte eine horizontale, auf dem anderen eine verticale Linie, welche ein Kreuz bildeten, oder zur Bestimmung der kleinsten Verschiebungen auf beide Objecte je ein Kreuz, welche beim binocularen Sehen ein Kreuz gaben. Auch in diesen Fällen, wo ich das Auseinandergehen der Objecte controliren konnte, bemerkte ich den für verschiedene Farben mehr weniger deutlichen Wettstreit der Sehfelder. Ausserdem ist auffallend, dass während die stereoskopische Fusion geometrischer Figuren u. s. w. sehr leicht zu Stande kommt, die Vereinigung der Farben derselben nicht stattfindet. Wenn man z. B. die Figur Taf. 9. Q. im Atlas von Helmholtz nimmt und einige Flächen in beiden Zeichnungen mit verschiedenen Farben bedeckt, so tritt bei binocularem Sehen die Erscheinung der Körperlichkeit sehr deutlich hervor, während die Farben sich nicht mischen; dasselbe wenn man die Schachbrettzeichnung (Helmholtz Atl. Taf. VI) oder andere Figuren nimmt. In Folge dessen kann ich nicht sagen, dass das Nichterscheinen der Mischfarbe für mich von Convergenschwankungen abhängt.

Dasselbe Resultat, wie im Stereoskope, erhielt ich auch bei anderen Arten der Farbenmischung, z. B. einem Verfahren, welches dem Helmholtz'schen für monoculare Mischung ähnlich ist: zwei parallelwandige Glasplatten, mit schwarzem Papier zwischen ihnen, wurden so gestellt, dass die Strahlen, welche von einem Objecte ausgehen, durch Reflection von der einen Platte in das eine Auge, von der anderen in das andere fallen, so dass beim Sehen mit beiden Augen eine wahre binoculare Farbenmischung vorlag; bei dieser Methode wurde auch nur der Wettstreit der Sehfelder erhalten, wie beim Wheatstone'schen Stereoskop.

Schliesslich wurden auch kleinere Objecte zu den Versuchen genommen, da Donders fand, dass je kleiner die Objecte sind, desto leichter man die Mischfarbe erhält. Die Grösse der Objecte war 3 und 2 □Mm., und bei stereoskopischer Betrachtung derselben ergab sich, dass man, obwohl die wirkliche Mischfarbe auch nicht erhalten wurde, bei solcher Grösse und bei einigen Farben eine der Mischfarbe nahe stehende Farbe bekommen kann, z. B. aus Orange und Grünblau fast Grau; aber aus Gelb und Blau gelang es nicht Grau zu erhalten.

Da der Wettstreit der Sehfelder für mich weder von den Schwankungen der Accommodation, noch von denen der Convergence abhängt, so musste versucht werden, ihn auf andere Weise zu beseitigen, um die Mischfarbe zu erhalten. Donders erhielt die Mischfarbe bei momentaner Beleuchtung mit dem elektrischen Funken ohne jeden Wettstreit. Es wurde daher in der folgenden Weise operirt. Vor den Öffnungen des Stereoskopes dreht sich schnell eine stroboskopische Scheibe mit mehreren gleichen an der Peripherie befindlichen Öffnungen, und zwar wird sie so gestellt, dass die Löcher sich gerade vor der Stereoskopöffnung befinden. Man kann dann bei schnellem Rotiren mit beiden Augen stereoskopische Objecte betrachten; dabei wird der Eindruck erzeugt als ob man durch eine graue Glasplatte sieht. Es ergab sich hierbei, dass die Mischfarbe bei einigen Farben erhalten wird, so z. B. wird aus complementären Farben — Orange und Grünblau oder Roth und Bläulichgrün — Grau erhalten, wie bei monocularer Mischung. Gelb und Blau, auch Grüngelb und Violett geben schwer die Mischfarbe; bei ihnen zeigt sich gewöhnlich der Wettstreit, obgleich die Farben nicht deutlich waren. Roth und Blau geben gleichfalls eine Farbe, welche der wirklichen Mischfarbe ähnlich ist — mehr Violett als Purpur¹³⁾.

Da das Rotiren der Scheibe eine mehr weniger bedeutende Verdunklung des Lichtes verursachte, so entstand die Vermuthung, ob das Auftreten der Mischfarbe an die Verminderung der Helligkeit der Farben geknüpft sei, zumal einige Autoren (Regnault, Panum) eine geringe Intensität der Farben für eine Bedingung des leichteren Zustandekommens der Mischfarbe halten. Um mich davon zu überzeugen, verfuhr ich auf verschiedene Weise: ich ver-

13) Einige Autoren erklären Violett für die wirkliche Mischfarbe aus Roth und Blau, was wahrscheinlich von einer Ungenauigkeit der Bezeichnung abhängt, da bei monocularer Mischung aus gleich viel Roth und Blau nicht Violett, sondern Purpur erhalten wird.

minderte die Intensität des in's Stereoskop fallenden Lichtes durch Verminderung der Öffnung im Kasten, indem ich für gleichmässige Beleuchtung Sorge trug. Mittelst dieses Verfahrens konnte ich wirklich bei einer gewissen Verminderung der Beleuchtung aus complementären Farben die Mischung herstellen, aber nicht bei allen Farben: am leichtesten aus Orange und Grünblau und aus Roth und Bläulichgrün; aus Gelb und Blau, oder Grüngelb und Violett aber gelingt es nicht die Mischfarbe zu erhalten; gewöhnlich überwiegt Gelb oder Grüngelb. Aus Roth und Blau wird auch schwer Purpur erhalten, eher Violett bald mit röthlicher, bald mit bläulicher Nüance. Ausserdem ist zu bemerken, dass je kleiner das Object (3 bis 2 Mm.) ist, desto leichter auch hier die Mischfarbe erscheint. Dasselbe Resultat kann man erhalten, wenn man die Objecte mit einer matten Glasplatte bedeckt und dann im Stereoskop betrachtet. Da aber auch dabei die Mischfarbe einiger Farben nicht erhalten wird, so entsteht der Gedanke, ob das Misslingen nicht von der Verschiedenheit der Helligkeit der Farben abhängt; denn es zeigt sich am deutlichsten bei solchen Farben, welche hinsichts ihrer Helligkeit (oder hinsichts ihrer Helligkeitsdifferenz mit dem Grunde) voneinander abweichen, nämlich bei Gelb und Blau, oder Grüngelb und Violett; Gelb und Grüngelb erscheinen immer heller, als Blau und Violett, und daher treten sie bei der Mischung mehr hervor. Dove und Panum stellen als Bedingung für die Herstellung der Mischfarbe: gleiche Intensität der Farben (und gleiche Sättigung). In Betreff der farbigen Gläser scheinen Alle einig zu sein, dass sie gleich hell sein müssen, sonst überwiegt die Farbe des helleren Glases (Aubert u. a.). Um mich nun zu überzeugen, dass das Nichterscheinen der Mischfarbe, z. B. bei Gelb und Blau, durch die Helligkeitsdifferenz verursacht wird, verfuhr ich so, dass ich die Beleuchtung nicht gleichmässig für beide Objecte verminderte, sondern mehr die für die hellere Farbe (Gelb), als die für die dunklere (Blau), und da fand ich, dass, besonders wenn die Objecte klein genommen wurden, auch aus diesen Farben die Mischfarbe entsteht, nämlich Grau, wie bei monocularer Mischung. Bei Roth und Blau aber modificirte ich, da es schwerer ist ihre Helligkeit zu bestimmen, die Beleuchtungsintensität in verschiedener Weise (bald mehr für die eine Farbe, bald mehr für die andere) und bei einem gewissen Verhältnisse (bei etwas grösserer Verminderung des Lichtes für Roth) ist es mir gelungen, weissliches Purpur zu erhalten (während monocular mehr gesättigtes Purpur er-

halten wird). Auch dieses tritt leichter bei geringer Grösse der Objecte ein, und überhaupt bei verminderter Beleuchtung für beide Farben. Es ist hier hinzuzufügen, dass die Verminderung der Beleuchtung nicht erheblich genug war, um die Erkennung der Farben monocular zu erschweren, und dass die Mischfarbe nicht von Veränderungen der einzelnen Farben bei Verminderung der Beleuchtung abhing, was man beim Betrachten mit jedem einzelnen Auge leicht controliren konnte.

Von der Stereoskopie ging ich zu einem anderen Verfahren der binocularen Farbenmischung über, und zwar dem bequemeren, bei dem man die Mischfarbe mit den unveränderten Farben der Objecte zu derselben Zeit vergleichen kann, nämlich der Betrachtung der farbigen Objecte bei parallelen Sehaxen. Die Betrachtung der Objecte bei Convergenz der Sehaxen vor ihnen ist überhaupt nicht bequem, theils wegen der schwereren Fixation, hauptsächlich aber wegen der Undeutlichkeit der Objecte (wegen der Zerstreuungskreise); bei parallelen Sehaxen aber kann man für die Objecte accommodiren. Dabei muss ich erwähnen, dass solches Sehen mit parallelen Sehaxen für mich sehr leicht ist, und ich meine Augen in solcher Stellung lange halten kann; in Folge dessen ist es für mich auch sehr leicht die stereoskopischen Zeichnungen ohne Stereoskop stereoskopisch zu sehen.

Als Objecte gebrauchte ich farbige Scheiben und Quadrate ($1\frac{1}{2}$ und $\frac{1}{2}$ Cm.), welche auf schwarzem Grunde in einer gegenseitigen Entfernung aufgeklebt waren, die der meiner Augen annähernd gleichkam, und zwar zu 5 Paaren, von denen 4 complementär gefärbt waren: Roth und Bläulichgrün, Orange und Grünblau, Gelb und Blau, Grüngelb und Violett, und Roth und Blau. (Die Mischfarbe wurde vorher monocular bestimmt.) Diese Paare von farbigen Objecten wurden in verschiedener Entfernung bei parallelen Sehaxen betrachtet, und dabei ergab sich, dass der Abstand auf die Farbe des mittleren Objectes von Einfluss ist; und zwar erscheint bei grossem Abstände (z. B. 3 oder 4 Meter) gewöhnlich die Farbe des mittleren Objectes sehr ähnlich der des linken, so dass von den 3 Objecten das linke und mittlere fast dieselbe Farbe haben (das mittlere etwas blasser), das rechte aber die andere Farbe. Es ist merkwürdig, dass diese Erscheinung nicht bei allen Farben beobachtet wird, nämlich nicht bei Gelb mit Blau, und Grüngelb mit Violett, jedoch nur bei gewisser Stellung dieser Farben zueinander: wenn nämlich das gelbe und grüngelbe Object rechts (vor dem rechten Auge) liegen, und das blaue

und violette links, so erscheint das mittlere Object in der Entfernung von 3 bis 4 Meter nicht blau oder violett, sondern hellgrau (der Wettstreit ist nicht bemerkbar), wobei aus Gelb und Blau helleres Grau, als aus Grüngelb und Violett erhalten wird. An kleineren Objecten ($\frac{1}{2}$ Cm.) tritt Grau noch heller (wie Weiss) hervor. Wenn aber die eben erwähnten Objecte so angeordnet sind, dass das gelbe und grüngelbe links, und das blaue und violette rechts liegen, so wird das Überwiegen der linken Farbe (Gelb, Grüngelb) sehr deutlich, so dass das linke und mittlere Object ganz gleichfarbig werden. Woher kommt dieses Überwiegen der Farbe des linken Objectes in grösserer Entfernung? und die Ausnahme für Gelb mit Blau, und Grüngelb mit Violett, bei einem bestimmten räumlichen Verhältnisse derselben zueinander? Theilweise hängt dieser Umstand jedenfalls von der Differenz der Refraction beider Augen ab, obgleich diese Differenz bei mir sehr unbedeutend ist, wie schon früher erwähnt wurde. Da mein linkes Auge ein wenig hypermetropisch ist, so erscheinen die Objecte, welche diesem Auge gehören, bei der Verdopplung deutlicher, als die des rechten und bei der Vereinigung derselben in die mittlere überwiegt die Farbe des deutlicheren, linken Objectes über das weniger deutliche rechte. Dafür spricht der Umstand, dass bei Ausgleichung der Refraction diese Erscheinung viel undeutlicher wird, ohne jedoch ganz zu verschwinden. Hier spielt noch der folgende Umstand eine Rolle: wenn man die Objecte verdoppelt, aber nicht so weit, dass die 2 mittleren Objecte in eines vereinigt werden, sondern aus 2 Objecten 4 entstehen, und dann sie betrachtet, so bemerkt man an diesen Objecten einigen Unterschied an Helligkeit und Sättigung, und zwar erscheinen die Objecte des rechten Auges (d. h. das erste und dritte von links) etwas matter und dunkler, während die dem linken Auge gehörenden Objecte (d. h. das zweite und vierte von links) heller sind (sogar bei Ausgleichung der Refraction). Es ist also verständlich, dass bei Vereinigung der beiden mittleren Objecte (des zweiten und dritten) die Farbe des linken (des zweiten) überwiegt, da sie etwas heller und gesättigter ist, als die des rechten Objectes. Dies erklärt auch, warum das Überwiegen der Farbe des linken Objectes nur bei einer gewissen Stellung des gelben und blauen oder des grüngelben und violetten Objectes erscheint: wenn das blaue Object links, und das gelbe rechts liegt, so vereinigt sich bei der Verdopplung die hellere linke Farbe (Blau) mit der weniger hellen rechten (Gelb), da aber die gelbe Farbe immer heller ist als die

blaue, so werden die Helligkeiten beider Farben einigermaassen ausgeglichen und als Resultat erscheint die Mischfarbe: Hellgrau. Bei umgekehrter Stellung derselben Farben aber erklärt sich das Überwiegen des Gelb (oder Grüngelb) leicht, da sich dabei die hellere Farbe Gelb (ohnedies heller als Blau) mit der dunkleren (Blau) vereinigt, und daher tritt sie noch deutlicher in der Mischung hervor, als es bei Farben gleicher Helligkeit, z. B. Orange und Grünblau, der Fall ist. Dasselbe bezieht sich auf Grüngelb und Violett. Diese Erscheinung wird noch deutlicher, wenn man nicht mit corrigirten Augen sieht, wie schon erwähnt wurde ¹⁴⁾.

Wenn ich die oben erwähnten Paare von farbigen Objecten in der Nähe (annähernd $\frac{1}{2}$ Meter) betrachte, so zeigt sich mehr weniger deutlicher Wettstreit der Sehfelder mit öfterem Hervortreten der Farbe des rechten Objectes. Wenn ich jetzt die verdoppelten Objecte (also 4) miteinander vergleiche, so erscheinen die dem rechten Auge gehörenden etwas heller und gesättigter, als die des linken Auges. Wenn ich mich nähere, so tritt der Wettstreit deutlich hervor und kein Mal gelingt es, die Mischfarbe zu bekommen — mag die Stellung der Objecte zueinander sein, wie sie wolle. Wenn man eine mittlere Entfernung ($1\frac{1}{2}$ bis 2 Meter) nimmt, so kann man leicht die Mischfarbe aus Orange und Grünblau oder Roth und Blaugrün erhalten, wahrscheinlich deshalb, weil diese Farben gleiche Helligkeit haben (wovon später). Aus Gelb und Blau oder Grüngelb und Violett aber wird die Mischfarbe bei dieser Entfernung nicht erhalten; gewöhnlich überwiegen die helleren Farben (Gelb und Grüngelb), besonders bei einer gewissen Stellung der farbigen Objecte, nämlich wenn sich das gelbe oder grüngelbe vor dem linken Auge befindet. Roth und Blau verhalten sich ebenso, wie z. B. Orange und Grünblau, d. h. in grösserer Entfernung überwiegt die linke Farbe, in der Nähe die rechte und der Wettstreit der Sehfelder, so dass man bei allmählicher Annäherung an die Objecte den allmählichen Übergang der einen Farbe in die andere durch die Mischfarbe

14) Es ist an dieser Stelle zu bemerken, dass die Ansicht einiger Autoren (Dobrowolsky), als ob die Differenz der Refraction das Auftreten der Mischfarbe begünstige, wenn sich die brechbarere Farbe vor dem Auge mit grösserer Refraction befindet, kaum richtig sein kann. Mein rechtes Auge ist etwas myopisch, während die Mischfarbe nur dann erhalten wird, wenn die brechbarere Farbe (Blau, Violett) nicht vor demselben, sondern vor dem Auge mit geringerer Refraction (dem linken) sich befindet. Die Differenz der Refraction begünstigt überhaupt nicht die Mischfarbe.

(in mittlerer Entfernung) wahrnehmen kann; dabei muss man jedoch die Mischfarbe mehr Violett als Purpur nennen.

Die Beleuchtungsintensität übt, wie erwähnt wurde, gleichfalls einen Einfluss auf das schwerere oder leichtere Herstellen der Mischfarbe aus: je geringer sie ist, desto leichter erhält man letztere. Weniger ist dieser Einfluss bei Farben von gleicher als bei solchen von verschiedener Helligkeit bemerkbar.

So auf schwarzem Grunde. Wenn man einen grauen Grund anwendet, so bietet die Erscheinung einige Besonderheiten dar: z. B. geben gelbe und blaue Objecte bei jeder Stellung zueinander nicht die Mischfarbe, aber es zeigt sich die Erscheinung des Glanzes, welcher am schärfsten nur dann hervortritt, wenn beide Farben zu derselben Zeit gesehen werden; und zwar erscheint Gelb durchsichtig und Blau scheint hindurch. Darum wird der Glanz am deutlichsten in mittlerer Entfernung bemerkbar; bei grösserer Entfernung wird er schwächer in Folge des Überwiegens der Farbe des linken Objectes, besonders wenn die gelbe Farbe links und die blaue rechts liegt, so dass in der Entfernung von 3 bis 4 Meter der Glanz völlig verschwindet, und die Farbe des mittleren Objectes fast gleich der des linken wird. Wenn die blaue Farbe aber links und die gelbe rechts liegt, so tritt der Glanz am deutlichsten in mittlerer und geringer Entfernung auf. Bei Vergrösserung des Abstandes wird der Glanz auch schwächer, aber nicht in solchem Grade, wie bei der umgekehrten Stellung der Objecte, so dass man sogar in der Entfernung von 3 bis 4 Meter den Glanz, wenn auch nur sehr schwach, bemerken kann, da jetzt die dunklere blaue Farbe überwiegt, aber nicht so viel, wie die gelbe im vorigen Falle. Wenn ich mich den Objecten nähere, so wird der Glanz gleichfalls schwächer (bei beiden Stellungen der Objecte zueinander) und beginnt der Wettstreit der Sehfelder stärker hervorzutreten, so dass in der Nähe kein Glanz mehr existirt, sondern nur der Wettstreit (anscheinend mit öfterem Hervortreten der Farbe des rechten Objectes).

In ähnlicher Weise verhalten sich Grüngelb und Violett, oder Schwarz und Weiss, überhaupt Farben, welche eine grosse Helligkeitsdifferenz nicht nur miteinander, sondern auch mit dem Grunde zeigen. Wenn man Farben nimmt, welche anscheinend gleiche Helligkeit haben, z. B. Orange und Grünblau, so geben sie auch auf grauem Grunde die Mischfarbe (ohne jeden Glanz): Grau; und da kann man ebenso die Erscheinung des Überwiegens bald der einen, bald der anderen Farbe je nach der Entfernung

beobachten; in der Nähe auch den Wettstreit der Sehfelder. Dasselbe bezieht sich auf Roth und Blaugrün, sowie Roth und Blau.

Wenn man dieselben farbigen Objecte auf weissem Grunde anwendet, so geben weder Blau und Gelb noch Violett und Grün-gelb die Mischfarbe, sondern die dunkleren Farben (Blau und Violett) überwiegen. Der Abstand ist gleichfalls von Einfluss: in grösserer Entfernung, wenn z. B. Blau links liegt, erscheint das mittlere Object ebenso blau, wie das linke, wenn aber Gelb links liegt, überwiegt zwar Blau in grösserer Entfernung, aber es erscheint nicht so rein blau, wie im vorigen Falle, sondern schmutzigblau. In mittlerer Entfernung überwiegt in beiden Fällen Blau; in der Nähe zeigt sich manchmal Gelb, und dieser Wettstreit der farbigen Felder tritt desto deutlicher hervor, je geringer der Abstand ist. Dasselbe bei Grün-gelb und Violett. Orange und Grünblau oder Roth und Blaugrün verhalten sich anders; in mittlerer Entfernung geben sie die Mischfarbe, nur dunkler, als auf schwarzem Grunde: Dunkelgrau (in Folge des Contrastes mit dem Grunde). Die Erscheinung des Überwiegens der einen oder der anderen Farbe und die des Wettstreits je nach der Entfernung bleibt auch hier in Kraft. Roth und Blau verhalten sich ebenso, wie die letztgenannten Farben (Orange und Grünblau u. s. w.).

B. Farbige Gläser. Zu meinen Versuchen dienten viele blaue, rothe, grüne, gelbe und purpurne Gläser. Bei Anwendung dieser Gläser springt in's Auge der Umstand, den viele Autoren erwähnen, dass die Gläser vor den Augen von derselben Helligkeit sein müssen, sonst überwiegt immer die Farbe des helleren Glases. Diese Helligkeit bestimmte ich einfach durch den Grad der durch die Gläser erzeugten Verdunklung eines weissen Quadrates auf schwarzem Grunde, da wir keine genaue Methode für die Messung haben. Dabei erhielt ich fast dasselbe Resultat, wie Aubert nach einem anderen Verfahren, nämlich: die dunkelsten Gläser sind das rothe und purpurne; das blaue (Kobalt-Glas) ist heller; um es gleich hell mit dem rothen zu machen, mussten zwei Glasplatten von bestimmter Dicke, und für die Ausgleichung der Helligkeit des rothen und grünen Glases mussten zwei grüne Platten zusammengenommen werden. Das hellste Glas war das gelbe. Zur annähernden Ausgleichung der Helligkeit desselben mit blauem Glase musste ich 3 gelbe Platten nehmen.

Wenn man durch solche annähernd gleich dunkle Gläser (vor beiden Augen) irgend ein gleichmässig beleuchtetes weisses Object

betrachtet, so wird das Resultat verschieden sein, je nachdem die Helligkeit des Objectes gross oder gering ist; so z. B. wenn man den Himmel, eine Wolke oder ein gut beleuchtetes weisses Object auf schwarzem Grunde betrachtet, gelingt es nicht, die Mischfarbe zu sehen; gewöhnlich bemerkte ich eine hellgraue Farbe mit dem Schein bald der einen, bald der anderen der angewendeten Farben. Dieses Grau erscheint um so heller, je heller der Gegenstand selbst ist. Deshalb scheint es mir bei diesen Versuchen mit farbigen Gläsern am besten, solche Gläser zu gebrauchen, deren Farben nicht complementär zueinander sind, denn sogar wenn man ein rothes und ein blaues Glas nimmt, geben sie (z. B. bei Betrachtung des Himmels) Hellgrau mit dem Schein bald der rothen, bald der blauen Farbe. Ausserdem ist es besser, anstatt eines zwei Objecte zu nehmen, z. B. zwei weisse Quadrate, welche annähernd wie die Augen voneinander entfernt sind, und sie nachher durch Gläser bei parallelen Sehaxen zu betrachten. So kann man die Mischfarbe mit der der beiden Gläser vergleichen. Am deutlichsten erkennt man den Einfluss der Helligkeit des Objectes auf das Erscheinen der Mischfarbe in folgendem Versuche: wenn sich ein blaues Glas vor dem einen Auge, ein rothes vor dem anderen befindet, und man durch zwei Quadratöffnungen zu $\frac{1}{2}$ oder 1 Centimeter Seite in einem schwarzen Schirm sieht, und wenn hinter diesen Öffnungen in dem Abstände von 20 Cm. ein von der Sonne beleuchtetes Blatt weissen Papierees liegt, oder, was dasselbe ist, wenn dieser Schirm mit den Öffnungen gegen den bewölkten Himmel gestellt ist, dann erscheint von den 3 Quadraten (bei parallelen Sehaxen) das mittlere hellgrau mit schwachem Schein bald der einen, bald der anderen Farbe, während das eine der seitlichen (1 und 3) Quadrate hellroth, das andere hellblau ist. Wenn man aber zu derselben Zeit zwei weisse Quadrate derselben Grösse, welche sich auf der vorderen Fläche desselben Schirmes befinden, also schlechter beleuchtet sind, betrachtet, so erscheinen beide Quadrate (ohne Divergenz der Sehaxen) blasspurpurn, besonders wenn das blaue Glas vor dem linken Auge steht; wenn es aber vor dem rechten steht, dann erscheinen die Quadrate mehr violett-purpurn (gleichfalls ziemlich blass). Es ist noch zu bemerken, dass bei Betrachtung der weniger beleuchteten Objecte sogar durch ein blaues Glas dieselben etwas violettblau, nicht blau, erscheinen, wie die helleren Objecte. Bei Anwendung von anderen Gläsern und bei hellen Objecten erhält man folgendes: bei einem rothen und einem grünen Glase: Hellgrau bald mit

grünlichgelbem, bald mit röthlichem Schein. Ersteres tritt öfter hervor, wenn das rothe Glas sich rechts befindet und letzteres, wenn links. Bei geschwächter Beleuchtung aber, d. h. beim Betrachten der oben erwähnten zwei Quadrate auf der vorderen Fläche des Schirms (auch bei parallelen Sehaxen) erhält man Blassgelb; und die gelbe Farbe tritt deutlicher hervor, wenn das rothe Glas sich vor dem rechten, und das grüne vor dem linken Auge befindet. Bei einem blauen und einem gelben Glase erhält man für helle Objecte Hellgrau oder Weiss mit schwachem Schein bald der blauen, bald der gelben Farbe. Dieser Schein ist sehr schwach, wenn das blaue Glas links steht; wenn es aber rechts steht, dann tritt etwas öfter der gelbe Schein hervor; bei schwacher Beleuchtung: Hellgrau, wenn das blaue Glas links, und Gelblichgrau, wenn es rechts liegt. Wenn man durch dieselben Gläser die weissen Quadrate bei mittlerem Grade der Beleuchtung, d. h. bei diffusem Tageslichte, betrachtet, so ergiebt sich fast dasselbe, wie bei geschwächter Beleuchtung; so bei einem blauen und einem gelben Glase: Hellgrau, wenn das blaue Glas links, oder Hellgrau mit gelblichem, manchmal auch mit bläulichem Schein, wenn es rechts steht (vom Einflusse der verschiedenen Stellung des blauen und gelben Glases vor den Augen spricht auch Brücke¹⁵⁾). Bei einem rothen und grünen Glase: dasselbe wie bei geschwächter Beleuchtung, d. h. weissliches Gelb. Gelb ist etwas gesättigter, wenn das rothe Glas rechts steht. Bei einem blauen und rothen Glase: weissliches Rosa, wenn das rothe Glas rechts, und weisslich bläuliches Rosa, wenn es links steht. Bei einem purpurnen und einem grünen Glase: Rosagrau, wenn das grüne Glas rechts, oder Gelblichgrau, wenn es links liegt. Es ist zu bemerken, dass bei allen diesen Versuchen mit Gläsern eine mittlere Entfernung (1 bis 2 Meter) genommen wurde. Die Vergrösserung oder Verkleinerung des Abstandes übt mehr weniger Einfluss auf das Überwiegen der einen oder der anderen Farbe aus, was man corrigiren kann durch Vergrösserung oder Verminderung der Helligkeit der Gläser, eine grössere oder kleinere Zahl der Glasplatten zusammenfassend.

Dasselbe Ergebniss, wie beim Betrachten der Öffnungen in dem gegen den hellen Gegenstand gestellten Schirm, wird beim Anbringen der Gläser hinter die Öffnungen des Schirms gewonnen, hierdurch auch (bei parallelen Sehaxen) der Wettstreit der Seh-

15) Poggendorff's Ann. Bd. 90. S. 606.

felder erhalten, obgleich die Farben selbst schwach hervortreten, sogar bei nicht complementären Farben.

Wenn man im Boden des Brewster'schen Stereoskopkastens zwei Öffnungen (z. B. zu $\frac{1}{2}$ Cm. Seite) anbringt in solcher Entfernung voneinander, dass sie beim binocularen Sehen sich leicht vereinigen, und hinter diese Öffnungen zwei verschiedenfarbige Gläser stellt, so erhält man zwei helle Farben (wie bei Spectralfarben). Wenn sie sich vereinigen, gelingt es mir nicht, die Mischfarbe zu erhalten, also dasselbe, wie beim Betrachten heller Objecte.

Endlich zeigt noch eine Modification der binocularen Farbmischung deutlich, wie sehr die Helligkeitsverschiedenheit der Farben von Wichtigkeit ist, nämlich die Betrachtung verschiedenfarbiger Objecte durch bunte Gläser. Zu diesem Zwecke dienten dieselben complementären Farbenpaare, wie früher (4 Paare). Wenn man diese Objecte durch bunte Gläser betrachtet, so erscheinen sie gefärbt in der hellen oder dunklen Farbe eines der beiden Gläser, oder in der Mischfarbe, und zwar dieses dann, wenn das Object die Farben der beiden Gläser zu gleicher Zeit annimmt. Ein Beispiel: Wenn ein rothes Glas vor dem einen Auge und ein blaues vor dem anderen sich befindet, und man die genannten Objecte betrachtet, so erscheinen sie in folgender Weise:

- 1) Roth und Grünlichblau werden Hellroth und Blau
- 2) Orange und Grünblau werden Hellroth und Hellblau
- 3) Gelb und Blau werden Hellroth und Hellblau
- 4) Grüngelb und Violett werden Weissl. Purpur und Violettblau.

Daraus sieht man, dass die complementären Bestandtheile durchweg wirklich gemischt worden sind. Wenn jetzt bei der Betrachtung durch beide Gläser die Objecte verdoppelt und aus den 4 Objecten 3 werden, so erscheint das mittlere verschieden nach der Stellung der Gläser. Wenn z. B. ein rothes Glas sich vor dem rechten ein blaues vor dem linken Auge befindet, so erscheint das mittlere Object in folgender Weise:

<u>rechts</u>	<u>links</u>
Roth aus dem 1. Paar: Roth und Dunkelviolett	
Dunkelroth aus dem 2. Paar: Dunkel-Roth und noch dunkleres Roth mit Violett-Nüance	
Weisslich-Purpur aus dem 3. Paar: Hellroth und Hellblau gleicher Helligkeit	
Weisslich-Purpur (gesättigter als 3) aus dem 4. Paar: Hellroth und Hellblau gleicher Helligkeit.	

Bei umgekehrter Stellung der Gläser geben die ersten 2 Paare die Mischfarbe, das 3. und 4. nicht, ausserdem überwiegt hier etwas die bläuliche Nüance (das rothe Glas links, das blaue rechts):

- | | | |
|----------|----------------------------|--------|
| | rechts | links |
| 1. Paar: | Violett | Purpur |
| 2. Paar: | Bläulich-Purpur | |
| 3. Paar: | Schmutzig Bläulich-Violett | |
| 4. Paar: | Violettblau | |
- (Blau wenig heller)
(gleicher Helligkeit)
(beide dunkel)
(dieses heller).

Dasselbe zeigen auch andere Gläser: so erscheint bei rothem und grünem Glase aus den 4 Paaren complementärer Farben Gelb, weisslich Gelb, Grüngelb, weisslich Grüngelb; die anderen Farben aber sind bald roth, bald grün. Bei Verdopplung der Objecte, wenn das rothe Glas rechts steht, ist die mittlere Farbe: 1) dunkelroth — aus sehr dunklem Schmutzig-Grün und dunklem Roth, 2) dunkelbraun — aus Schmutzig-Grün und sehr dunklem Roth (gleich dunkel), 3) hellroth — aus Schmutzig-Bläulichgrün und Hellroth, und 4) roth — aus eben erkennbarem Schmutzig-Bläulichgrün und Roth.

Bei umgekehrter Stellung der Gläser (das rothe links) erscheint im 1. Paare Hellgrau mit gelblicher Nüance (aus Hellroth und Hellgrün); dasselbe im 2. Paare, d. h. Weisslich-Gelb (dieselben Bestandtheile). Im 3. und 4. Paar überwiegt Grün, weil es heller ist.

Bei blauen und gelben Gläsern (das gelbe Glas ist etwas orangegeb) wiederholt sich dasselbe. Bei Verdopplung der Objecte erscheint das mittlere (wenn das blaue Glas rechts): 1) hellgrau: aus gleich hellem Blau und Gelb; 2) weisslichpurpur (mit schwacher Orange-Nüance): aus Orange und Blau von gleicher Helligkeit; in den beiden letzten Paaren (3 und 4) erscheint das mittlere Object sehr dunkel. Bei umgekehrter Stellung der Gläser geben das 3. und 4. Paar die Mischfarbe als weissliches Purpur aus gleich hellem Blau und Orangegeb (3. Paar) und aus Violettblau und Orangegeb (4. Paar). Das weissliche Purpur im 4. Paar ist etwas gesättigter als im 3. Paare.

Bei allen diesen Versuchen wurde die mittlere Entfernung (1 bis 1½ Meter) beibehalten; in grösserer Entfernung überwiegt die hellere Farbe. Wenn die Farben, welche die mittlere Farbe (d. h. die Farbe des mittleren Objectes) zusammensetzen, gleich

hell sind, dann überwiegt in grösserer Entfernung die Farbe des linken Objectes, in der Nähe die des rechten, und hier ist auch der Wettstreit der Sehfelder deutlich.

Was schliesslich die Spectralfarben betrifft, so benutzte ich sie, wie schon früher bemerkt wurde, nur beiläufig. Stellt man von 2 Spectroskopen eines vor das eine, das andere vor das andere Auge, so dass man bei gleichzeitigem Sehen mit beiden Augen zwei Spectra übereinander sieht, so lassen sich bei passender Isolirung der Farben, mit dem Diaphragma die einzelnen Theile binocular zur Deckung bringen. Obwohl ich aber die Helligkeit der beiden Spectra variirte, konnte ich dennoch nicht die Mischfarben herstellen, erhielt vielmehr immer den Wettstreit der Sehfelder; und da nach den Versuchen der ersten Abschnitte überhaupt eine wesentliche Verschiedenheit der Spectralfarben bei ihrer Mischung von den Körperfarben nicht zu erwarten war, so wurden diese Versuche nicht fortgesetzt.

Resultate.

Die nach allen Methoden erhaltenen Ergebnisse gestatten den Schluss zu ziehen, dass die Mischfarbe bei binocularer Mischung erhalten werden kann, aber nur unter gewissen Bedingungen. Diese Bedingungen sind folgende:

1) Die Hauptbedingung ist gleiche Helligkeit der zu mischenden Farben oder richtiger gleiche Helligkeitsdifferenz derselben mit dem Grunde und die Abwesenheit oder geringe Grösse der Helligkeitsdifferenz zwischeneinander. Wenn die eine Farbe mit dem Grunde mehr contrastirt, als die andere, dann überwiegt sie bei der binocularen Mischung, während die weniger contrastirende Farbe zurücktritt oder verschwindet. Dieser Umstand erklärt das leichteste Auftreten der Mischfarbe, z. B. bei Orange und Grünblau, da sie gleich mit dem Grunde (aber nicht miteinander) contrastiren, mag er sein wie er will. Gelb mit Blau oder Grüngelb mit Violett aber, welche verschieden mit dem Grunde, oder wenigstens miteinander auf grauem Grunde, contrastiren, geben sehr schwer die Mischfarbe und nur unter der Bedingung der Vergrösserung bez. Verkleinerung der Helligkeitsdifferenz der weniger bez. mehr contrastirenden Farbe. Eine solche Ausgleichung der Helligkeitsdifferenz ist für meine Augen möglich bei einer gewissen Stellung dieser Farben zueinander: da die dem rechten Auge gehörigen Objecte bei Verdopplung weniger deutlich

(dunkler) erscheinen (von ferne), so wird, wenn die mehr contrastirende Farbe vor dem rechten Auge steht, ihre Helligkeitsdifferenz mit dem Grunde kleiner werden, und deshalb wird es möglich, bei diesem Verhältnisse der Objecte zueinander die Mischfarbe zu erhalten, was wirklich geschieht, wenn Gelb und Grün gelb rechts liegen; bei umgekehrter Stellung aber findet eine solche Vereinigung der Farben nicht statt in Folge noch grösserer Helligkeitsdifferenz zwischen denselben.

Dasselbe ergiebt auch die Betrachtung farbiger Objecte durch gefärbte Gläser. Wenn die zu vereinigenden Farben gleiche Helligkeit haben, dann ist die Herstellung der Mischfarbe möglich, wenn nicht, dann überwiegt die hellere Farbe. Dasselbe bei Betrachtung weisser Objecte durch bunte Gläser.

Für die Nothwendigkeit der gleich hellen oder der gleich mit dem Grunde contrastirenden Farben für die binoculare Mischfarbe spricht auch die bekannte Thatsache der Vereinigung des Schwarz und Weiss. Niemals wird das matte Grau, wie bei monocularer Mischung, erhalten, sondern die sogenannte Graphitfarbe (im Stereoskop). Wenn man aber das schwarze und weisse Object auf einem gewissen Grunde (ohne Stereoskop) oder kleine Objecte im Stereoskop betrachtet, dann erscheint die Mischung, und zwar verschieden je nach dem Grunde: wenn der Grund grau ist, erscheint der Glanz (Graphitfarbe), ist der Grund schwarz, dann tritt, wie bekannt, nur Weiss hervor; wenn der Grund weiss ist, tritt nur Schwarz hervor. In den beiden letzteren Fällen überwiegt die Farbe, welche am meisten mit dem Grunde contrastirt (Schwarz auf weissem und Weiss auf schwarzem Grunde); die Farbe aber, welche mit dem Grunde nicht contrastirt, verschwindet völlig. Im ersteren Falle, obwohl beide Farben (Schwarz und Weiss) gleich mit dem Grunde contrastiren, geben sie die Mischfarbe deshalb nicht, weil hier der neue Factor hinzukommt, welcher die Mischfarbe verhindert: die grosse Helligkeitsdifferenz zwischeneinander. Wenn diese Differenz vermindert wird, wenn z. B. das schwarze und dunkelgraue Object auf weissem, oder das weisse und hellgraue Object auf schwarzem Grunde liegt, dann kann man auch hier die Mischfarbe erhalten, wie bei monocularer Mischung.

Ganz dasselbe zeigen auch die anderen Farben. Es wurde schon erwähnt, dass bei binocularer Mischung die mit dem Grunde mehr contrastirende Farbe in der Mischung überwiegt, die andere fast verschwindet: auf schwarzem Grunde überwiegen die helleren

Farben (z. B. Gelb und Grüngelb über Blau und Violett), auf weissem Grunde aber die dunkleren (Blau und Violett über Gelb und Grüngelb), deshalb scheint es mir richtiger hier nicht von der Helligkeit (Lichtstärke) der Farben, sondern von der Helligkeitsdifferenz der Farben mit dem Grunde zu sprechen, da z. B. Gelb und Grüngelb immer heller sind (insofern darüber überhaupt geurtheilt werden kann), als Blau und Violett, auf jedem Grunde, während die letzteren auf hellem Grunde überwiegen.

Wenn die binocular zu vereinigenden Farben nicht nur eine grosse Helligkeitsdifferenz mit dem Grunde, sondern auch miteinander zeigen, dann wird nicht die Mischfarbe, sondern die Erscheinung des Glanzes erhalten, und dabei ist die Qualität der Farben, wie auch Helmholtz bemerkt, von keinem Einfluss. Wenn z. B. das gelbe und das blaue Object auf grauem Grunde liegen, so geben sie bei ihrer Vereinigung deutlichen Glanz; dasselbe wenn Braun und Gelb, Schwarz und Gelb, Blau und Weissblau, Blau und Weiss u. a. vorliegt. Es wird stets deutlicher Glanz erhalten. Hierzu muss ich bemerken, dass der Glanz nur dann ganz deutlich hervortritt, wenn die Farben der beiden Objecte zu derselben Zeit sichtbar sind: durch die hellere Farbe scheint so zu sagen die dunklere durch. Wenn die eine Farbe überwiegt, nimmt der Glanz ab und verschwindet ganz, was auch Dove erwähnt. Dies stimmt mit der Ansicht von Helmholtz überein, welcher fand, dass sogar bei der Beleuchtung mit dem elektrischen Funken der Glanz sehr deutlich erscheint: also kann hier keine Rede vom Wettstreit der Sehfelder sein, den Aubert für das Auftreten des Glanzes für nothwendig hält.

2) Die Helligkeit oder Beleuchtungsintensität der farbigen Objecte spielt bei der binocularen Mischung der Farben auch eine Rolle: je grösser sie ist, desto schwerer ist es, die Mischfarbe zu erhalten; gewöhnlich findet Wettstreit der Sehfelder statt, obgleich die Farben selbst dabei blass erscheinen, wie oben angegeben wurde. Vielleicht erklärt theilweise dieser Umstand die Erscheinung, dass Aubert (s. S. 1) bei mehreren Gläsern fast dieselbe Mischfarbe bekommen hat. Es ist möglich, dass dies theilweise von der grösseren oder geringeren Helligkeit der Gläser abhängt, aber von den meinigen kann ich bemerken, dass sie ziemlich dunkel waren und ich Sorge trug, ihnen möglichst gleiche Helligkeit zu geben. Die hellen Gläser können, wie Fechner bemerkt, nichts beweisen, da es oft schwer ist, die Farbe des Objectes sogar durch ein Glas zu bestimmen, besonders beim Be-

trachten heller Gegenstände. Da die Helligkeit der Gläser nach den jetztigen Methoden schwer bestimmbar ist, so variirte ich sie manchmal durch Vergrösserung bez. Verkleinerung der Glasplatten, wodurch die überwiegende Wirkung des einen oder des anderen Glases verschwand. (Es versteht sich von selbst, dass die Farbe jedes Glases für sich controlirt wurde, um eine mögliche Veränderung der Farbe des Glases bei verschiedener Zahl der Glasplatten zu vermeiden.) Wahrscheinlich hängt theilweise das Nichterscheinen der Mischfarbe in der Nähe der Objecte und im Stereoskop bei mittlerer Beleuchtung ab von zu grosser absoluter Helligkeit.

Für die Abhängigkeit des Auftretens der Mischfarbe von der Beleuchtungsintensität spricht wenigstens: erstens ihr Erscheinen im Stereoskop bei gewisser Verminderung des Lichtes, auf welche Weise sie auch erzeugt wird (durch die rotirende Scheibe, durch Verkleinerung der Kastenöffnung, durch Bedeckung der Objecte mit einer matten Glasplatte, natürlich leichter z. B. bei Orange und Grünblau, als bei Gelb und Blau) und zweitens bei Vergrösserung des Abstandes von den Objecten; drittens, dass während bei der Betrachtung der hellen Objecte durch farbige Gläser (z. B. Öffnungen in dem Schirm) keine Mischfarbe erhalten wird, dieselben Gläser bei Betrachtung der dunkleren Objecte (weisser Quadrate auf demselben Schirm) die Mischfarbe geben (die Veränderung der Farbe bei Verminderung der Beleuchtung wurde natürlich berücksichtigt).

3) Die Grösse der Objecte ist von Einfluss auf das Erscheinen der Mischfarbe: je kleiner die Objecte sind, desto leichter ist die Mischfarbe zu erhalten (Satz von Donders), aber dieser Einfluss ist nicht gross, wenigstens nicht für kleine Objecte von 1 □ Cm. abwärts.

4) Die Differenz der Refraction der Augen ist von Wichtigkeit für das Zustandekommen der Mischfarbe: je grösser sie ist, desto schwerer gelingt die Mischung. Dies lässt sich daraus schliessen, dass dieser Einfluss schon bei der sehr unbedeutenden Refraktionsdifferenz meiner Augen bemerkbar ist: in grösserer Entfernung überwiegt bei mir gewöhnlich die Farbe des linken Objectes deshalb, weil dieses Object dem linken etwas hypermetropischen Auge deutlicher erscheint, als das rechte dem rechten etwas myopischen Auge. Dies ist die Regel, wenn die Helligkeit der zu vereinigenden Farben gleich oder fast gleich ist, z. B. bei Orange und Grünblau. Bei verschiedener Helligkeit der Farben

aber wirken noch andere Umstände ein. Es ist hier zu bemerken, dass das Überwiegen der Farbe des linken Objectes in der Entfernung, des rechten in der Nähe nicht nur von der Refraktionsdifferenz abhängt, da beim Corrigiren dieser Differenz die Erscheinung immerhin bemerkbar bleibt, obgleich in viel geringerem Grade; wahrscheinlich kommt die Gewohnheit grösstentheils in die Ferne mit dem linken, in die Nähe mit dem rechten Auge zu sehen hierbei in Betracht. (Beim Sehen mit dem Mikroskop, Ophthalmoskop, Otoskop u. s. w. gebrauche ich immer das rechte Auge.) Überhaupt kann man sagen, dass die ganz gleiche Refraction der beiden Augen das Wahrnehmen der Mischfarbe begünstigt, eine Differenz derselben, sogar eine kleine, es verhindert.

5) Verschiedene individuelle Besonderheiten wirken auf die binoculare Farbenmischung ein. Hier ist zu erwähnen (ausser der Refraction) erstens — Übungsdifferenz der beiden Augen, sogar bei gleicher Refraction; dann wird die Farbe, welche dem geübteren Auge entspricht, in der Mischung überwiegen, als die deutlichere; zweitens — die Schwankungen der Accommodation können auch manchmal hierbei eine Rolle spielen, aber ihr Einfluss ist unbedeutend: denn in jenen Fällen, wo ich die Mischfarbe nicht erhalten konnte, z. B. in der Nähe, im Stereoskop bei guter Beleuchtung, bei verschiedener Helligkeit der Farben u. s. w. zeigte die Anwendung der sphärischen Gläser keine Veränderung im Resultate. Auch konnte ich die Mischfarbe nach dem Verfahren von Bezold nicht erhalten, obgleich ich die farbigen Objecte (Hauptbedingung von Bezold) sehr deutlich sehen konnte.

Was die Schwankungen der Convergenz betrifft, so spricht das Auftreten der Mischfarbe bei grösserer und kleinerer Entfernung von den Objecten und das Ausbleiben der Mischfarbe in der Nähe für ihren Einfluss; aber in Rücksicht auf andere Umstände scheint dieser Einfluss der Convergenz klein zu sein. So erhält man bei vollem Wirken der beiden Augen weitaus nicht immer die Mischfarbe. Es wäre auch nicht begreiflich, warum bei derselben Entfernung die einen Farben die Mischfarbe geben, die anderen nicht, während die genannten Umstände diese Erscheinung einfach erklären. Die Erscheinung des Glanzes, sogar bei Beleuchtung mit dem elektrischen Funken, spricht auch gegen den Einfluss der Convergenz. Ausserdem spricht gegen den Einfluss der Accommodation und Convergenz die Thatsache des Nichterscheinens der Mischfarbe bei Vereinigung des Schwarz und Weiss,

während Schwarz und Grau oder Weiss und Grau die Mischfarbe geben.

6) Vielleicht sind hier von Einfluss noch andere individuelle Verschiedenheiten im Gehirn, welche gestatten den Einen da Mischfarbe zu sehen, wo es den Anderen nicht gelingt. Dass ich die Mischfarbe in der Nähe nicht erhalten konnte, hängt vielleicht auch von der cerebralen Individualität ab. Dieses Misslingen der Mischung zeigt wenigstens, dass für Vereinigung der farbigen Empfindungen der beiden Augen in eine nicht nur dieselbe Intensität des Reizes der correspondirenden Stellen der Netzhäute, sondern auch eine bestimmte (nicht grosse) Intensität des Reizes da sein muss. Wenn aber der zweifache Farbenreiz zwar gleich, aber stark ist, dann vereinigen sich die beiden Empfindungen im Gehirn nicht in eine, sondern bleiben getrennt. Wie dem auch sei, man kann jedenfalls sagen, dass das Auftreten oder Nichtauftreten der binocularen Mischfarbe von mehreren Bedingungen abhängig und nicht so einfach ist, wie Bezold und Dobrowolsky behaupten. Dieser Einfluss mannigfaltiger Bedingungen erklärt zur Genüge den Widerspruch, der unter den verschiedenen Autoren über diesen Gegenstand herrscht. Meine Resultate bestätigen namentlich die Ansicht von Dove, Panum, Regnault u. A., dass die Mischfarbe bei gleicher und nicht grosser Intensität der zu mischenden Farben auftritt. Da aber alle obengenannten Bedingungen, welche auf das Erscheinen der binocularen Mischfarbe einwirken, keinen Einfluss auf die monoculare Mischung derselben ausüben, so muss man einräumen, dass in dieser Beziehung zwischen den beiden Arten der Farbenmischung ein sehr wesentlicher Unterschied existirt. In der That handelt es sich bei der einäugigen Farbenmischung um eine Combination zweier Reize in oder auf der Netzhaut, bei der zweiäugigen aber um eine Verschmelzung zweier getrennt im Sensorium entstehender Empfindungen, im ersteren Falle also um einen physikalischen, im letzteren um einen psychischen Process.

Zum Schluss halte ich es für meine Pflicht, dem Herrn Prof. Preyer, in dessen Laboratorium ich diese ganze Arbeit ausführte, für seine Rathschläge und Hülfe bei derselben meinen tiefgefühlten Dank auszusprechen.

Druck von A. Neuenhahn in Jena.

Inhalt des ersten Heftes.

Dr. W. Preyer, Über die Grenzen der Tonwahrnehmung.

I. Die tiefsten Töne. II. Die höchsten Töne. III. Die Unterschieds-empfindlichkeit für Tonhöhen. IV. Die Empfindlichkeit des Intervallensinnes. V. Über die Empfindung der Stille.

Preis 2 Mark.

Inhalt des zweiten Heftes.

Dr. Robert Pott, Untersuchungen über die Stoffvertheilung in verschiedenen Culturpflanzen mit besonderer Rücksicht auf ihren Nährwerth. Preis 1 Mark 50 Pf.

Inhalt des dritten Heftes.

Albert Schmidt, Über die Dissociation des Sauerstoffhämoglobins im lebenden Organismus. Preis 1 Mark 20 Pf.

Inhalt des vierten Heftes.

Dr. A. Classen, Zur Physiologie des Gesichtssinnes.
Preis 1 Mark 50 Pf.

Inhalt des fünften Heftes.

Dr. Robert Wernicke, Zur Physiologie des embryonalen Herzens.
Preis 1 Mark.

Inhalt des sechsten Heftes.

Henri Tollin, Die Entdeckung des Blutkreislaufs durch Michael Servet (1511—1553). Preis 2 Mark 40 Pf.

Chodin, A.

Über die Abhängigkeit der Farbenempfindungen von der Lichtstärke

Jena 1877

Anat. 345 yb,I-6/10

urn:nbn:de:bvb:12-bsb11354617-6